
BACHELORARBEIT

Frau
Tabea Christine Schettler

**Optimierung der
kontinuierlichen zentralen
Konzentratversorgung in
einer Dialysepraxis**

Mittweida, 2011

BACHELORARBEIT

Optimierung der kontinuierlichen zentralen Konzentratversorgung in einer Dialysepraxis

Autor:
Frau Tabea Christine Schettler

Studiengang:
Physikalische Technik

Seminargruppe:
PT08wM-B

Erstprüfer:
Prof. Dr. Ralf Hinderer

Zweitprüfer:
Dipl.-Ing. (FH) Ronald Knorre

Einreichung:
Mittweida, 23.09.2011

Verteidigung/Bewertung:
Mittweida, November 2011

Bibliografische Beschreibung:

Schettler, Tabea Christine:

Optimierung der kontinuierlichen zentralen Konzentratversorgung in einer Dialysepraxis. - 2011 - 7, 63, 7 S.

Mittweida, Hochschule Mittweida,

Fakultät Mathematik/Naturwissenschaften/Informatik, Bachelorarbeit, 2011

Referat:

Bei einer zentralen Konzentratversorgung wird Konzentrat gemischt und aus Tanks in eine Leitung gespeist. In den am Leitungssystem hängenden Dialysemaschinen wird das Konzentrat gemischt und verwendet. Ist ein Tank mit Konzentrat leer, muss dies erkannt und auf einen vollen Tank geschaltet werden, damit die Leitung immer gefüllt ist. Mit der Optimierung der technischen Realisierung dieser Umschaltung befasst sich diese Arbeit. Dabei ist das wesentliche die Sensorik zum Erkennen, ob sich im Tank noch Konzentrat befindet, die Steuerung und die Aktorik, bei der auf den anderen Tank geschaltet wird.

Dank

Für die Unterstützung aller, die mir bei dieser Bachelorarbeit geholfen haben, möchte ich mich bedanken.

Dies betrifft insbesondere meinen Betreuer der Hochschule, Herrn Prof. Dr. Ralf Hinderer von der Hochschule Mittweida, sowie alle Professoren, die mir in meiner Studienzeit das Wissen vermittelt haben, um diese Arbeit anzufertigen und später in meinem Beruf als Medizintechniker tätig zu sein.

Weiterhin bedanke ich mich bei meinem betrieblichen Betreuer Herrn Dipl.-Ing. (FH) Ronald Knorre und allen anderen Mitarbeitern der Firma „Knorre und Molder Medizintechnik GmbH Erfurt“, insbesondere bei Herrn Jürgen Sahl für die Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit.

Inhalt

Bibliografische Beschreibung:	IV
Referat:	IV
Dank	V
Inhalt	VI
Abbildungsverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Aufgabenstellung	1
1.3 Kapitelübersicht	3
2 Grundlagen	4
2.1 Die natürliche Dialyse mit Hilfe der Niere	4
2.2 Die künstliche Dialyse	6
2.2.1 Medizinische Aspekte	6
2.2.2 Geläufige Verfahren der Dialyse	8
2.2.2.1 Hämo-perfusion	8
2.2.2.2 Hämodialyse	8
2.2.2.3 Hämo-filtration	9
2.2.2.4 Hämo-diafiltration	9
2.2.2.5 Peritonealdialyse	9
2.2.2.6 Spenderorgan	10
2.2.3 Physikalische Grundlagen zur Dialyse	11
2.2.3.1 Ultrafiltration	11
2.2.3.2 Konvektion	11
2.2.3.3 Osmose	12
2.2.3.4 Diffusion	12
2.2.4 Dialysator	13
2.2.5 Dialysierflüssigkeit	14
2.2.5.1 Destilliertes Wasser	14
2.2.5.2 Basische Komponente	15
2.2.5.3 Saure Komponente	15
2.2.6 Konzentratversorgung	16
2.3 Diplomarbeit zum Thema	17

2.3.1	Inhalt der Diplomarbeit	17
2.3.2	Praktische Erfahrungen	18
3	Material	20
3.1	<i>Steuerung</i>	20
3.1.1	TTL-Logik	20
3.1.2	SPS-Steuerung	21
3.1.3	Entscheidung für eine Steuerung	21
3.2	<i>Sensor für die Bestimmung des Füllstandes.....</i>	23
3.2.1	Schwimmerkammer	23
3.2.2	Schwimmer	24
3.2.3	Hydrostatische Bestimmung	24
3.2.4	Messung mit Ultraschall	25
3.2.5	Optische Messung	25
3.2.6	Induktive Messung	25
3.2.7	Kapazitive Messung	26
3.2.8	Entscheidung	26
3.3	<i>Umschalter auf den anderen Tank</i>	28
3.3.1	Magnetventil	28
3.3.2	Kugelhahn	29
3.4	<i>Entscheidung</i>	30
3.5	<i>Pumpe.....</i>	31
4	Zusammenschaltung der Komponenten	32
4.1	<i>Programmierung der SPS-Steuerung.....</i>	32
4.1.1	Deklarierung der Ein- und Ausgänge.....	32
4.1.2	Einzelschaltungen für verschiedene Problemfelder	34
4.1.2.1	Steuerung mit den Sensoren	35
4.1.2.2	Abschaltung mit Endlagenschalter	36
4.1.2.2.1	Abschaltung nach normalem Betrieb	36
4.1.2.2.2	Beide Tanks sind voll oder leer, aber die Kugelhähne haben nicht die gleiche Position	38
4.1.2.3	Ampelsteuerung	40
4.1.3	Vollständige Schaltung	41
4.2	<i>Mechanische Zusammenschaltung</i>	43
4.2.1	Anschluss des Kugelhahns an die Schläuche	43
4.2.2	Anschluss der Pumpe an die Schläuche	44
4.2.3	Einbindung des Rücklaufs	44
4.3	<i>Elektrische Verknüpfung.....</i>	45
4.3.1	Bauart	45
4.3.2	Spannungsversorgung	46

4.3.3	Signalleitung der Sensoren	47
4.3.4	Steuerung der Kugelhähne	48
4.3.5	Endlagenschalter des Kugelhahns	48
4.3.6	Einbindung der Ampel	49
4.3.6.1	Dimensionierung der Vorwiderstände der LEDs	50
4.3.7	Anschluss der Pumpe	52
4.3.8	Elektrische Sicherung	52
4.4	<i>Benennung der Komponenten</i>	53
4.4.1	Benennung der äußeren Komponenten	53
4.4.2	Schaltungskasten	55
4.4.3	Lage der Relais	55
4.4.4	Lüsterklemmen	56
4.4.4.1	Spannungsversorgung	56
4.4.4.2	Sensoren	57
4.4.4.3	Stromversorgung Kugelhahn	57
4.4.4.4	Endlagenschalter	58
4.4.4.5	Ampelsteuerung	59
5	Einbau	61
5.1	<i>Erstinbetriebnahme</i>	61
5.2	<i>Wartung</i>	62
6	Diskussion und Ausblick	63
Literatur		IX
Anlagen		X
Selbstständigkeitserklärung		XIII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Graphische Darstellung der Problematik.....	2
Abbildung 2: Aufbau der Niere.	5
Abbildung 3: Prinzip der Ultrafiltration	11
Abbildung 4: Prinzip der Konvektion.....	11
Abbildung 5: Osmose	12
Abbildung 6: Diffusion	12
Abbildung 7: Hämodialyse mit Dialysator	13
Abbildung 8: Alte Konstruktion	18
Abbildung 9: Bild der verwendeten SPS-Steuerung	22
Abbildung 10: Kapazitiver Sensor.....	27
Abbildung 11: Aufbau eines Kugelhahns.....	29
Abbildung 12: Bild des eingebauten Kugelhahns.....	30
Abbildung 13: Entsprechungen der Aus- und Eingänge der SPS-Steuerung.....	34
Abbildung 14: Teilschaltbild Sensoren.....	35
Abbildung 15: Teilschaltbild Endlagenschalter.....	37
Abbildung 16: Teilschaltbild Endlagenschalter.....	39
Abbildung 17: Teilschaltbild Ampelschaltung.....	40
Abbildung 18: Komplette Schaltung.....	42
Abbildung 19: Beschaltung des Kugelhahns	48
Abbildung 20: Vorwiderstand der LED.....	50

Abbildung 21: Benennung der Tanks	53
Abbildung 22: Gesamte Konstruktion in der Praxis	54
Abbildung 23: Schaltungskasten	55
Abbildung 24: Beschaltung der Relais.....	56

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eingänge der SPS-Steuerung.....	33
Tabelle 2: Ausgänge der SPS-Steuerung.....	33
Tabelle 3: maximaler Stromverbrauch und Leistungsaufnahme der einzelnen Bauteile	46
Tabelle 4: Anschluss der Kugelhähne	58
Tabelle 5: Anbindung der Endlagenschalter	59
Tabelle 6: Ampelbelegung.....	60

1 Einleitung

Nachdem die Motivation vorgestellt und die Aufgabenstellung thematisiert worden ist, wird in diesem Kapitel ein kurzer Überblick über die Bachelorarbeit gegeben.

1.1 Motivation

Die vorliegende Bachelorarbeit beschäftigt sich mit einem Problem, das in der Praxis aufgetaucht ist. Es wurde sich bereits 2004 in einer Diplomarbeit mit dem Thema beschäftigt. [Knorre2004] Da es aber im Laufe der Zeit zu Veränderungen kam, wurde eine Anpassung der entwickelten Lösung an die aktuellen Gegebenheiten nötig.

Der Erfolg zeigt sich am Ende der Arbeit mit dem Einbau und der Verwendung in der Praxis.

Diese Schrift dient in erster Linie als Graduierungsarbeit, kann aber auch als Dokumentation für die gebaute Apparatur verwendet werden.

1.2 Aufgabenstellung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Optimierung der zentralen Konzentratversorgung in einer Dialysepraxis.

In einem Nebenzimmer der Dialysepraxis stehen zwei Tanks mit Konzentrat, einer salzhaltigen Flüssigkeit. Aus einem Tank wird Flüssigkeit in einen Kreislauf gepumpt, aus welchem die Dialysemaschinen mit Konzentrat versorgt werden. Ist dieser Tank leer, soll dies automatisch erkannt und zur Speisung auf den anderen Tank umgeschaltet werden, damit der erste Tank wieder vom medizinischen Personal aufgefüllt werden kann, während der Zeit, in der sich der andere leert.

Weiterhin sollen die Tanks mit in den Kreislauf eingebunden werden, was bis jetzt noch nicht der Fall ist. Das bedeutet, dass die Speisung in einen Schlauch erfolgt und ein Rückfluss des nicht verwendeten Konzentrats in die Tanks erfolgt.

Pumpen sollen das Konzentrat durch die Leitungen befördern, welche ebenfalls eingebunden und elektrisch angesteuert werden müssen.

Da die Tanks jeweils 250 l umfassen leert sich der Tank nur aller 3 - 4 Tage, was auch ein Umschalten in diesen großen Zeitabständen erfordert.

Eine Ampel zeigt an, ob sich in beiden Tanks noch Konzentrat befindet oder ob ein oder zwei Tanks leer sind.

Alle Bauteile, die mit dem Konzentrat in Berührung kommen, müssen ein Zertifikat auf Lebensmittelechtheit haben, da das Konzentrat mit dem menschlichen Blut in Berührung kommt.

Da es in der zu betreuenden Dialysepraxis zwei verschiedene Arten von Konzentrat gibt, muss der Bau in doppelter Ausführung erfolgen. Es handelt sich um 2er und um 4er Konzentrat. Diese Bezeichnungen sind betriebsintern und haben keine wissenschaftliche Bedeutung. Die Nomenklatur, den Rechten Tank mit L und den linken Tank mit R zu bezeichnen, soll übernommen werden, da das medizinische Personal mit diesen Begriffen seit Jahren arbeiten. Damit gibt es vier Tanks: 2R, 2L, 4R und 4L.

Die fertige Konstruktion müsste demzufolge so aussehen und bezeichnet sein, wie dies in Abbildung 1 graphisch dargestellt ist.

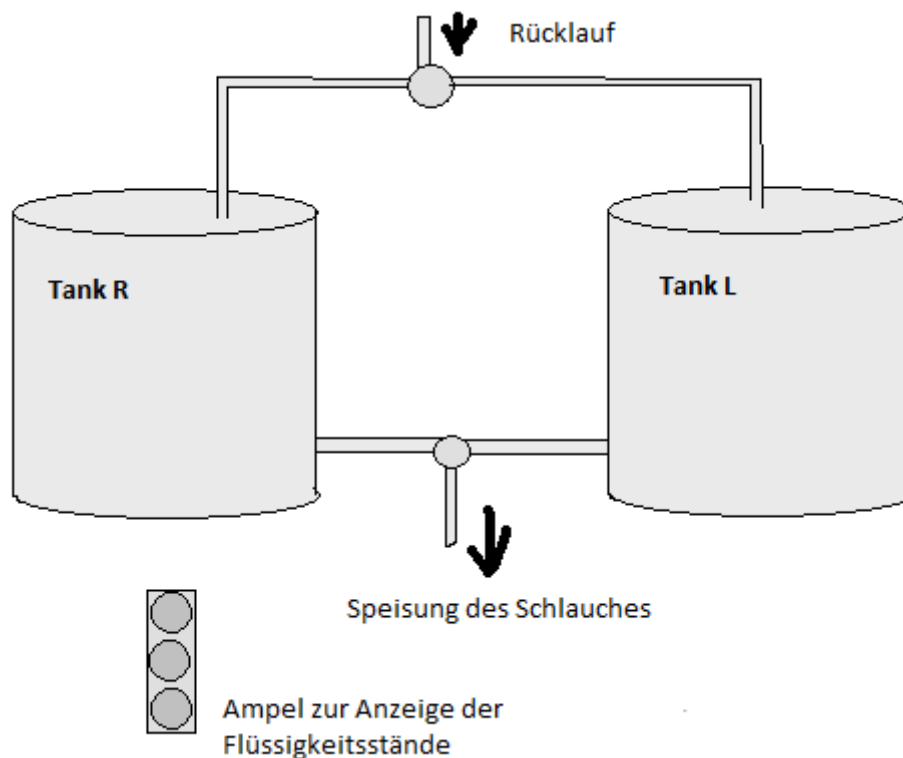


Abbildung 1: Graphische Darstellung der Problematik. Aus einem Tank soll der Kreislauf gespeist werden. Ist dieser leer, soll auf den anderen Tank umgeschaltet werden. Ein Rücklauf soll vorhanden sein und eine Ampel soll Füllstände anzeigen

1.3 Kapitelübersicht

Die Bachelorarbeit besteht aus vier Kapiteln.

Kapitel 1 zeigt die Motivation, erläutert die Aufgabenstellung und gibt eine kurze Übersicht über die vorliegende Arbeit.

In **Kapitel 2** werden Grundlagen der Dialyse und speziell der Konzentratversorgung erläutert, sowie eine vorangegangene Diplomarbeit zum Thema vorgestellt.

Kapitel 3 befasst sich mit den Komponenten, die zum Bau der Schaltung eingebracht werden. Es wird zwischen verschiedenen Varianten abgewogen und sich dann für die beste Variante entschieden.

Die Vernetzung der Bauteile, wozu das Programmieren oder Erstellen einer Steuerung, wie auch die elektrische und mechanische Anbindung der Bauteile gehören, wird in **Kapitel 4** beschrieben. Eine Übersicht wird gegeben, damit Techniker zu einem späteren Zeitpunkt in der Lage sind, die Konstruktion zu reparieren.

Schließlich wird in **Kapitel 5** auf den praktischen Einbau und den Betrieb eingegangen.

Ein kurzer Ausblick über diese Arbeit hinaus wird in **Kapitel 6** gegeben.

2 Grundlagen

Um ein umfassendes Verständnis für die Problematik zu bekommen, wird im ersten Kapitel zuerst auf die Niere eingegangen, welche die Aufgabe der Dialyse beim gesunden Menschen übernimmt. Anschließend wird auf Schädigungen dieses Organs eingegangen, welche die künstliche Dialyse notwendig machen, sowie auf Arten der Dialyse und grundsätzliche Prinzipien. Die Bestandteile des Dialysats werden vorgestellt und es wird darauf eingegangen, wie die Dialysemaschinen in einer Dialysepraxis mit diesen versorgt werden.

Die Erkenntnisse aus einer früheren Diplomarbeit zum Thema werden vorgestellt.

2.1 Die natürliche Dialyse mit Hilfe der Niere

Die Nieren, von denen der gesunde Mensch zwei besitzt, liegen beiderseits der Wirbelsäule, unterhalb des Bauchfells und der Rippen, etwa in Höhe der Taille. Die bohnenförmigen, etwa 12 cm großen Organe haben folgende Funktionen:

- Regulation des Flüssigkeitshaushaltes
- Regulation des Säure-Base-Haushaltes sowie Steuerung des Salzgehaltes (z.B. die Elektrolyte Kalium, Natrium und Phosphor)
- Ausfilterung von Giftstoffen, Medikamentenresten und den harnpflichtigen Substanzen¹ Kreatinin, Harnstoff und Harnsäure aus dem Blut und Weiterleitung dieser zur Ausscheidung
- Regulation des Blutdruckes, unter anderem durch das in der Niere produzierte Enzym Renin
- Bildung von Vitamin D3, welches den Stoffwechsel und die anschließende Einlagerung von Kalzium ermöglicht
- Produktion des Hormons Erythropoetin, welches die Bildung von roten Blutkörperchen anregt

Die Niere ist von einer Nierenkapsel umgeben, darunter liegt die Nierenrinde, welche aus den Nephronen², gebildet wird. Diese wiederum bestehen aus dem Glomeruli³.

¹ Harnpflichtig sind die Substanzen, die durch die Niere mit dem Harn ausgeschieden werden

² Nephronen sind Nierenkörperchen

Durch die Nierenarterie strömt Blut in die Kapillare der Glomeruli und es werden Proteine und abgestorbene Zellen vom Blut getrennt. Es entsteht der Primärharn. Durch Tubuli gelangt der Primärharn aus den Glomeruli. Die Bowman'sche Kapsel hat die Aufgabe, den Druck im Glomerulus konstant zu halten. Viele Stoffe werden in den Körper zurückgewonnen, vor allem Wasser. Pro Tag entstehen 180 l Primärharn, welcher zum größten Teil aus Wasser besteht. Eine Ausscheidung des Primärharns würde unweigerlich zum Austrocknen des Körpers führen, vor allem, wenn man bedenkt, dass die empfohlene Trinkmenge am Tag bei nur 2-3 l Wasser liegt. Auch Mineralien und überlebenswichtige Vitamine müssten in einer extrem großen Menge aufgenommen werden. Der Endharn gelangt durch das Nierenbecken in den Harnleiter und wird in der Harnblase bis zur Ausscheidung gesammelt. Das Volumen des Endharns beträgt beim gesunden erwachsenen Menschen etwa 1,5 l am Tag. Durch Atmung und Transpiration verliert der Körper zusätzlich Wasser.

In Abbildung 2 ist der Aufbau der Niere schematisch dargestellt. [PHK2011]

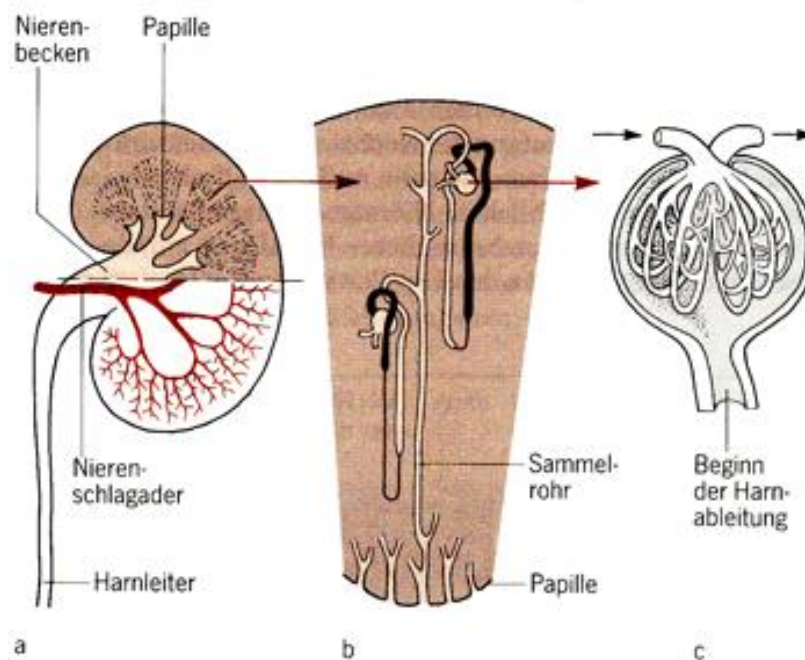


Abbildung 2: Aufbau der Niere. a zeigt das ganze Organ; b die Strukturen, welche die ausgefilterten Stoffe ableiten und c einen Glomerulus.

³ Knäuele aus feinen Blutgefäßen, auch Nierenkörperchen genannt

2.2 Die künstliche Dialyse

2.2.1 Medizinische Aspekte

Niereninsuffizienz ist die Beeinträchtigung der Funktion der Nieren. Dies führt in leichten Stadien zu keiner Beeinträchtigung, kann aber bis zum völligen Verlust der Nierenfunktion führen. Die Ursachen hierfür sind sehr verschieden. Einige werden in der nachfolgenden Aufzählung aufgeführt.

- **Zystennieren**

Bei dieser erblich bedingten Krankheit bilden sich in der Niere Zysten⁴. Dieser Vorgang schreitet im Laufe des Lebens fort, was den Verlust von Nierentätigkeit und schließlich, meist im 4. Lebensjahrzehnt, die Niereninsuffizienz bedeutet. Da die Vererbung autosomal-dominant stattfindet, erkranken 50% der Kinder einer betroffenen und einer gesunden Person ebenfalls. [Schön1990]

- **Nieren- und Nierenbeckenentzündung**

Die Nierenentzündung (Interstitielle Nephritis) ist eine Zusammenfassung aller Entzündungen von Glomerulus, Tubuli und dem sie umgebenden Raum.

Die chronische Nierenbeckenentzündung (chronische Pyelonephritis) ist eine meist bakterielle Infektion, die sich meist aus Keimen entwickelt, die von einer Blasen- oder Harnröhrenentzündung durch die Harnleiter in die Niere aufsteigen. Diese kann bei wiederholter Infektion chronisch werden. [PHK1990] [AUNB2011] [AUNi2011]

- **Nierenschädigung durch Neptotoxine⁵ wie Quecksilber, Wismut, Gold, Blei, Heroin oder das Gift des Knollenblätterpilzes**

Da es sich bei der Niere um ein Filterorgan handelt, sammeln sich bestimmte Schadstoffe an. Können diese nicht ausgeschieden werden, verbleiben sie lange im Organ und schädigen dieses, gerade durch Ionen des Schadstoffes

- **Nierenschädigung durch hohe Strahlenexposition (Strahlennephritis)**

Die Niere ist ein Organ, welches auf radioaktive Strahlung sehr empfindlich reagiert. Bei einer zu hohen Strahlenexposition kann die Niere ihre Funktion einstellen. Als aktuelles Beispiel, bei dem es zu einer hohen Strahlenbelastung bei betroffenen Personen gekommen ist, sei die Reaktorkatastrophe im März 2011 im japanischen Fukushima zu nennen.

⁴ Zysten sind Gewebshohlräume, die durch Kapseln abgeschlossen werden

⁵ Neptotoxine sind Nierengifte

- **Nierenschäden aufgrund von Unfällen**

Aufgrund der Lage der Nieren im unteren Rückenbereich sind gerade Motorradfahrer gefährdet. Da oft nur eine Niere beschädigt wird, übernimmt die andere Niere die volle Funktion.

- **Sekundäre Nierenerkrankungen wie Diabetische Nephropathie, Nierenfunktionsstörungen bei einer Lebererkrankung oder Schwangerschaftsnephropathie [Schön1990]**

Es liegt bei dieser Gruppe immer eine Ersterkrankung vor, welche die Nieren belastet. Diabetiker sind von einer Niereninsuffizienz besonders gefährdet, in Kombination verlaufen die Krankheiten merklich schlechter. Die Leber stellt das zweite Organ dar, mit dem das Blut gereinigt wird.

- **HUS als Folge von EHEC⁶**

Im Frühjahr 2011 trat besonders in Norddeutschland vermehrt EHEC auf. In schwer verlaufenden Fällen kommt es zu HUS⁷. Dabei schütten Bakterien Giftstoffe aus, die rote Blutkörperchen platzen lassen. Reste dieser Blutzellen verstopfen dann die Kapillare im Gehirn oder in den Nieren. Niereninsuffizienz droht und bei einem vermehrten Auftreten (im Mai 2011 60 Fälle am Tag, normal sind 60 Fälle im Jahr) gerade bei jungen Menschen, werden Spenderorgane knapp. Ist das Gehirn betroffen, kann HUS selbst bei guter medizinischer Versorgung zum Tod führen. [Web2011]

Besteht eine Niereninsuffizienz, kommt es zu einer Urämie⁸. Die in Punkt 2.1 genannten Funktionen der Niere finden stark eingeschränkt oder nicht mehr statt. Es kommt so zu

- Bluthochdruck und Überwässerung durch Störung im Elektrolyt- und Wasserhaushalt
- sekundärer Gicht wegen Störung der Harnsäureausscheidung
- Übersäuerung wegen einer gestörten Ammoniumbildung
- Juckreiz und Verkalkung durch eine gestörte Phosphatausscheidung
- Knochenveränderungen durch verminderte Vitamin D-Aufnahme
- Anämie⁹ durch verminderte Erythropoetinbildung

⁶ EHEC ist Enterohämorrhagische Escherichia coli

⁷ HUS ist das Hämolytisch-urämische Syndrom

⁸ Urämie ist eine Harnvergiftung, was das Endstadium der Niereninsuffizienz darstellt

⁹ Anämie ist die Blutarmut

Schließlich kann es bei einer Niereninsuffizienz zu Vergiftungen kommen, welche schließlich zum Tod führen. Dies ist auch der Grund, warum ein Absetzen der Nierenersatztherapie den Tod zur Folge hat. [Schön1990]

Als vertiefende Literatur über die Dialyse wird die Dialysefibel von Günther Schönweiß empfohlen, welche im Verlag PERIMED-spitta 1990 erschienen ist. Dieses Buch wurde vor allem für Ärzte geschrieben und ist deshalb für Nicht-Mediziner nicht ohne weiteres verständlich. Die Webseite <http://www.niere.org> ist besser verständlich, dementsprechend ist aber auch die wissenschaftliche Qualität geringer.

2.2.2 Geläufige Verfahren der Dialyse

2.2.2.1 Hämo-perfusion

Bei diesem Verfahren wird eine Hämo-perfusionskapsel in den Blutkreislauf eingeschaltet, welche absorbierende Substanzen wie Aktivkohle enthält, wodurch das Gift, wie auch körpereigene Substanzen gebunden werden. Es erfolgt kein Flüssigkeitsentzug, was auch der Grund dafür ist, dass diese Art der Dialyse hauptsächlich in der Notfallmedizin bei Vergiftungen eingesetzt wird.

2.2.2.2 Hämodialyse

Da die meisten Patienten nach diesem Verfahren dialysiert werden, assoziiert der Laie Dialyse automatisch mit der Hämodialyse. Dabei wird dem Patienten vor der ersten Dialyse operativ ein Shunt (Verbindung zwischen einer Arterie und einer Vene) meist an einem Arm gelegt. Das Blut wird aus der Blutbahn heraus gepumpt, passiert den Dialysator, wo es gereinigt wird, und wird anschließend wieder in den Körper zurückgepumpt. In Abbildung 7 ist das Prinzip der Hämodialyse dargestellt. Diese funktioniert mit einem Dialysator, auf den in Kapitel 2.2.4 näher eingegangen wird.

Der Patient wird im Normalfall aller zwei Tage in die Dialysepraxis oder ins Krankenhaus gebracht und dort meist 4 - 8 Stunden dialysiert. Eine Heim-Hämodialyse ist ebenfalls möglich.

Die vorliegende Arbeit befasst sich ausschließlich mit der Konzentratversorgung bei der Hämodialyse.

2.2.2.3 Hämofiltration

Bei dieser Variante wird dem Blut Plasma entzogen und es wird statt eines Dialysators ein Hämofilter verwendet, wodurch auch das Dialysat unnötig wird. Der Hämofilter besteht aus einer hochpermeablen Membran, durch die definierte Moleküle unterschiedlich gut hindurch gelassen werden.

Eine Pumpe bringt das Blut auf den Filter und siebt dies quasi. Die Flüssigkeit mit den darin gelösten Stoffen wird verworfen und eine Substitutionslösung wird als Ausgleich in den Körper gebracht. Durch das definieren zugeben dieser Lösung kann der Volumenentzug geregelt werden, wodurch auch nicht explizit auf eine niedrige Flüssigkeitszufuhr geachtet werden muss. Ein Shunt wird ebenfalls benötigt.

Da dieses Verfahren deutlich teurer ist als die Hämodialyse und ein hoher Blutfluss vorhanden sein muss, wie dies nur selten bei chronisch Kranken der Fall ist, gilt dieses Verfahren als Reserveverfahren und wird nur angewendet, wenn eine Hämodialyse nicht möglich ist. Dies ist bei einem nicht einstellbaren Hypotonus (zu niedriger Blutdruck) der Fall. [Gros2011]

2.2.2.4 Hämodiafiltration

Hier werden Hämodialyse und Hämofiltration gekoppelt. Dies stellt damit eine sehr effektive Variante der Dialyse dar. Es können hiermit weit mehr Substanzen aus dem Blut gefiltert werden als durch eine der beiden Möglichkeiten allein. Allerdings ist auch hier ein hoher Blutfluss nötig. Die Kosten sind entsprechend auch höher als bei einer einzelnen Variante. [Gros2011]

2.2.2.5 Peritonealdialyse

Bei der sogenannten Bauchfelldialyse wird das Dialysat direkt in den Bauchraum geleitet. Vor dem ersten Einsatz wird deshalb operativ ein Katheter gelegt.

Das stark durchblutete Bauchfell fungiert hierbei wie die Membran im Dialysator bei der Hämodialyse. Durch sie werden harnpflichtige Substanzen aus der Blutbahn in das Dialysat gefiltert.

Meistens verbleibt das Dialysat bis zu einem Beutelwechsel im Bauchraum. Dann wird das Dialysat über den Katheter nach außen geleitet und neues Dialysat in den Bauchraum gebracht. Dies ist selbstverständlich nur mit entsprechender Hygiene möglich.

Dabei gibt es die Möglichkeit des maschinellen Beutelwechsels ebenso wie den manuellen Beutelwechsel. In Absprache mit dem Arzt kann während der Nacht

kontinuierlich ein maschineller Beutelwechsel erfolgen. Ebenso ist alle, beispielsweise 8 Stunden, ein manueller Beutelwechsel möglich.

Daraus resultiert eine größere Mobilität und dies ist auch der Grund, warum dieses Verfahren bei jungen Patienten häufig angewendet wird.

Nachteile bestehen in der großen Eigenverantwortung der Patienten. So ist ein Beutelwechsel hygienisch einwandfrei durchzuführen, was ein gewisses Geschick und spezieller Schulungen bedarf. Außerdem ist die Peritonealdialyse nur einige Jahre anwendbar und danach muss auf andere Dialyseverfahren ausgewichen werden.

Diese Patienten werden zwar ebenfalls von einer Dialysepraxis betreut, müssen diese aber nur zu Kontrollen aufsuchen. [KfH2007]

2.2.2.6 Spenderorgan

Nach allen klassischen Dialyseverfahren ist hier noch die Rückkehr zur natürlichen Dialyse über ein Spenderorgan erwähnenswert. Dies stellt dahingehend die optimale Lösung dar, da hier die meisten Substanzen aus dem Blut gefiltert werden können. Regelmäßige Beutelwechsel oder Dialysesitzungen sind ebenso wenig notwendig wie die Kontrolle der Flüssigkeitszufuhr.

Während die funktionslosen Nieren dabei an ihrem Platz belassen werden, wird das Spenderorgan in den Beckenbereich, deutlich unterhalb der eigenen Nieren, eingesetzt.

Das Problem besteht darin, dass Spenderorgane knapp sind. Einerseits gibt es die Totspende von fremden Personen, die zu einer Spende ihrer Organe zu Lebzeiten eingewilligt haben. Andererseits ist eine Lebendspende möglich, bei der nahestehende Verwandte eine ihrer beiden gesunden Nieren transplantieren lassen.

Lebenslanglich müssen Medikamente verabreicht werden, die eine Abstoßungsreaktion verhindern. Die Menge der Medikamente im Vergleich zu künstlichen Dialyseverfahren nimmt mit der Transplantation aber deutlich ab. Diese ist aber nicht in jedem Fall erfolgreich, besonders, weil Abstoßungsreaktionen nicht unterdrückt werden können, was eine Rückkehr zur künstlichen Dialyse bedeutet.

Für sehr alte Menschen sind die Operation und die damit verbundene Narkose allerdings belastender als die künstliche Dialyse. Außerdem werden Spenderorgane kaum an alte Menschen abgegeben.

2.2.3 Physikalische Grundlagen zur Dialyse

Bei der Hämodialyse wird ein Dialysator eingesetzt, um Stoffe, die bei der Dialyse aus dem Blut entfernt werden sollen, aus dem Blut in den Dialysator zu bringen. Es werden dazu die vier unten aufgeführten Phänomene aus der Physik ausgenutzt. Die Abbildungen zeigen die Experimente mit Wasser, wie sie standardmäßig erklärt werden. Die linke Seite entspricht jeweils der Blut-, die rechte der Dialysatseite.

2.2.3.1 Ultrafiltration

Durch einen Überdruck auf der einen und einen Unterdruck auf der anderen Seite kommt es zu einem Transmembrandruck. Dass Wasser wird regelrecht durch die semi-permeable Membran gedrückt, wie dies in Abbildung 3 dargestellt ist.

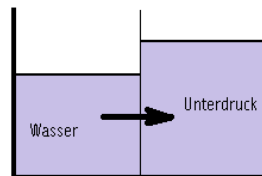


Abbildung 3: Prinzip der Ultrafiltration. Wasser wird von auf die Seite mit dem Unterdruck gezogen.

2.2.3.2 Konvektion

Durch die Ultrafiltration gelangen nicht nur Wasser, sondern auch im Wasser gelöste Stoffe durch die Membran. Dieser Prozess wird Konvektion genannt und ist in Abbildung 4 dargestellt.

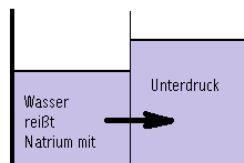


Abbildung 4: Prinzip der Konvektion. Das Wasser reißt bei der Ultrafiltration Ionen wie Natrium mit sich

2.2.3.3 Osmose

Wasser strömt wegen des höheren osmotischen Druckes auf die Seite höherer Konzentration. Dieser Vorgang ist in Abbildung 5 veranschaulicht.

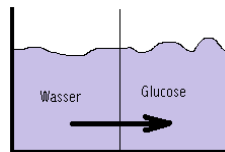


Abbildung 5: Osmose. Wasser wird von der Seite der stärkeren Konzentration angezogen.

2.2.3.4 Diffusion

Durch den Konzentrationsgradienten kommt es zur Stoffwanderung von der Blut- zur Wasserseite, was in Abbildung 6 aufgezeigt wird. [Schön1990]

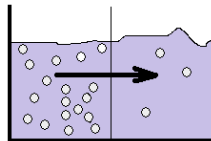


Abbildung 6: Diffusion. Es findet ein Konzentrationsausgleich statt

2.2.4 Dialysator

Der Dialysator nutzt die in Kapitel 2.2.3 gezeigten Grundlagen. Wie bereits erwähnt, ist dabei die linke Seite jeweils die Blut-, die rechte die Dialysatseite.

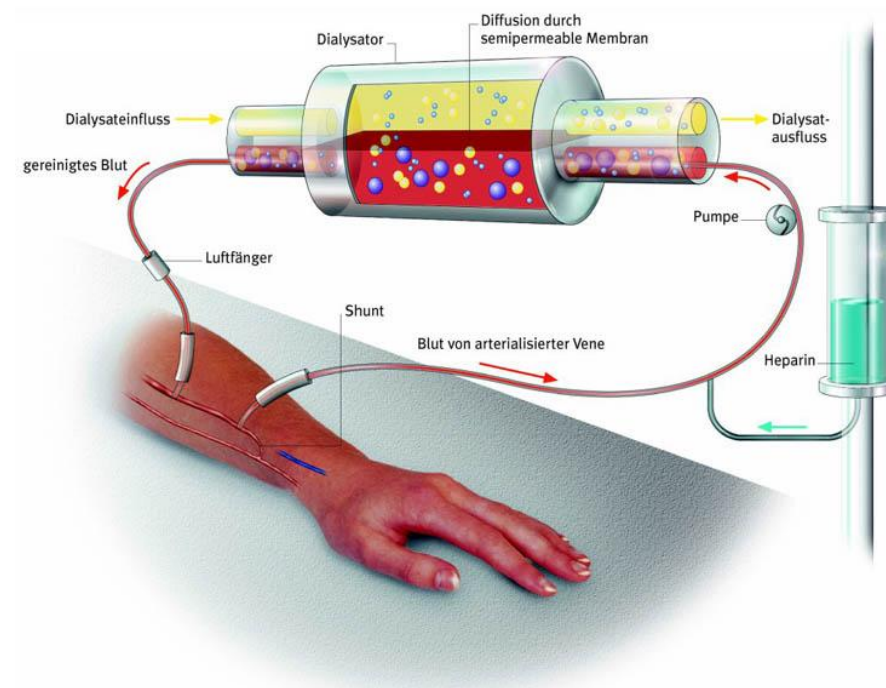


Abbildung 7: Hämodialyse mit Dialysator. Über einen Shunt wird das Blut aus dem Körper entnommen. Über eine semipermeable Membran im Dialysator werden dem Blut Stoffe entzogen und es wird wieder in den Körper zurückgeleitet. Zusätzlich wird Heparin, ein Hormon, das in der gesunden Niere gebildet wird, zugegeben.

Dies geschieht in einem Dialysator wie dieser in Abbildung 7 zu sehen ist. Durch die entgegengesetzte Richtung von Dialysat- und Blutfluss werden die Transportmechanismen noch optimiert. Das Blut fließt nicht wie in der Abbildung zu sehen in zwei Hälften des Dialysators, sondern durch Kapillaren. So wird mit dem Prinzip der Oberflächenvergrößerung das Verfahren zusätzlich optimiert.

Die Kapillaren bestehen heute nicht mehr wie früher üblich, aus organischem Material wie Cellulose, Celluloseacetat oder Hemophan, sondern aus synthetischem Material wie verschiedene Polysulfone oder Polyacrylnitril. Dies hat den Vorteil, dass die Dialysatoren eine höhere Blutkompatibilität besitzen und manchmal auch mit Dampfsterilisatoren wieder aufbereitet werden können. Bis heute konnte sich aber eine Wiederaufbereitung der Dialysatoren nicht durchsetzen, auch nicht, dass ein Patient den gleichen Dialysator ein zweites Mal verwendet, da es nach wie vor Probleme bei der Aufbereitung gibt und durch die Möglichkeit der Aufbereitung die Qualität des Dialysators sinkt. [Kramme]

2.2.5 Dialysierflüssigkeit

Die Dialysierflüssigkeit, besteht aus einer patientenindividuellen Mischung. Auch wenn im engeren Sinn mit Dialysat die Dialysierflüssigkeit gemeint ist, welche bereits verwendet wurde, werden beide Worte hier, wie dies auch in der Praxis meist der Fall ist, als Synonyme verwendet. Im Folgenden ist eine typische Mischung genannt:

- Natrium (135 bis 140 mmol/l)
- Kalium (2 mmol/l)
- Calcium (1,75 mmol/l)
- Magnesium (0,5 mmol/l)
- Chlorid (103 mmol/l)
- Acetat (35 mmol/l)

Die Dialysierflüssigkeit, welche das Dialysegerät selbständig herstellen kann, besteht aus drei Komponenten, in denen die aufgeführten Stoffe enthalten sind.

- **destilliertes Wasser**
- **basische Komponente**
- **saures Konzentrat** (wird im folgenden Konzentrat genannt)

2.2.5.1 Destilliertes Wasser

Da in einer Dialysepraxis enorme Mengen an destilliertem Wasser benötigt werden, wird dieses üblicherweise in der Dialysepraxis selbst hergestellt. So verbraucht jeder Patient pro Jahr etwa 20.000 l Wasser. Die Qualitätsansprüche an dieses sind sehr hoch, da es mit Blut in Kontakt gebracht wird.

Ein weiterer Punkt, warum gerade destilliertes Wasser benötigt wird ist, dass die Zusammensetzung des Dialysats später genau definiert sein muss. Sind schon Ionen im Wasser, kann dies nicht exakt eingestellt werden, wodurch die Qualität der Dialyse sinkt.

Erst wird Trinkwasser mit Aktivkohlefilter von kleinen Verunreinigungen gereinigt, dann enthärtet, das heißt, von Calcium und Magnesium befreit. Über die Umkehrosmose werden die Ionen im Wasser herausgefiltert. Dafür wird dieses durch einen sehr feinen Filter gepumpt. Sogar Viren verbleiben im Filter.

In der zu betreuenden Dialysepraxis wird dieser Vorgang betrieben und das Wasser über Ringleitungen in der gesamten Praxis verteilt. Auch in der dialysefreien Zeit muss das Wasser in der Ringleitung, wenn auch nicht so oft, gereinigt werden um Verunreinigungen zu vermeiden. Ein Abfüllen in Tanks ist damit nur bedingt möglich.

2.2.5.2 Basische Komponente

Die basische Komponente wird patientenindividuell gemischt, je nach Alter, Geschlecht, Ernährungsgewohnheiten und anderen Faktoren wird bestimmt, welche Komponenten in welcher Konzentration aus dem Körper herausdialysiert werden sollen und welche Konzentrationen im Körper verbleiben dürfen.

Über eine Kartusche wird sie in jedes Dialysegerät gehängt. Ihr pH-Wert liegt meist bei etwa 7,7 bis 8,0. Der wesentliche Bestandteil ist Bicarbonat mit einem Natriumchlorid-Zusatz.

Acetat wird im gesunden Organismus vollständig zu Bicarbonat umgewandelt. Da dies aber bei manchen Patienten nicht ausreichend funktioniert, wird oft das Bicarbonat direkt in die Kartusche platziert. Um nicht noch mehr Bicarbonat dem Organismus zu entziehen, wird in das Dialysat Bicarbonat gegeben. Bicarbonat dient im Organismus zur Pufferung des pH-Wertes.

Bicarbonat ist technisch schwer handhabbar, da es chemisch instabil ist und sich leicht in ein Carbonat-Ion und Kohlendioxid zersetzt, was auch Ausgasen genannt wird. Weiterhin reagiert Bicarbonat mit Calcium und Magnesium und es kommt zu ungewünschten Verkalkungen. Daher ist auch eine Herstellung der Dialysierflüssigkeit aus nur einer Komponente kaum möglich. Da nach dem Zusammenmischen beider Komponenten bei der Hämodialyse nur etwa eine Minute bis zur Verwendung vergeht, stellt dies beim Mischen vor Ort kein Problem dar. Eine von der Kartusche getrennte Zuführung dieser Stoffe ist damit notwendig. Dies geschieht mit der sauren Komponente. Eine Verkeimung tritt schon nach kurzer Zeit ein, wodurch ein gemeinsames Nutzen der Bicarbonat-Lösung für mehrere Patienten unmöglich ist und ein schnelles Aufbrauchen erforderlich ist. Ein besonderes steriles Aufbereiten ist notwendig.

2.2.5.3 Saure Komponente

Da in der basischen Komponente schon alle patientenindividuellen Stoffe untergebracht sind, reicht es in den meisten Fällen aus, dass eine Dialysepraxis zwei verschiedene saure Konzentrate, die sogenannten Standard-Konzentrate besitzt, die sich nur im Kaliumgehalt unterscheiden. In der zu betreuenden Dialysepraxis sind dies 2er und 4er Konzentrat.

Die saure Komponente besteht neben dem Kalium vor allem aus Magnesium. Das saure Konzentrat hat einen pH-Wert von unter 7,3 und besitzt schon wegen des sauren Charakters eine gewisse Autosterilität, weshalb die Nutzung einer Quelle für mehrere Patienten hygienisch verantwortet werden kann. Wird diese Komponente allerdings mehrere Tage nicht bewegt, gasst sie aus und verliert ihre Autosterilität. Auf die

Konzentratversorgung wird in Kapitel 2.2.6 näher eingegangen. [HeHe2011]
[Schön1990]

2.2.6 Konzentratversorgung

Die Konzentratversorgung kann sowohl dezentral als auch zentral erfolgen. Bei der dezentralen Versorgung werden die Behälter mit der sauren Komponente direkt zum Dialysegerät gebracht und dort entnommen. Der Vorteil ist, dass es auf keinen Fall zu Übertragungen von Keimen auf diesem Weg kommen kann. Eventuelle Fehler bei den Mischverhältnissen schaden nur einem und nicht allen Patienten. Der Nachteil besteht darin, dass jeder Tank separat vom Personal an den Dialyseplatz gebracht werden muss, was eine große körperliche Belastung darstellt. Durch den Mehraufwand muss mehr medizinisches Personal eingestellt werden, was wiederum Kosten verursacht. So ist diese Variante nur für sehr wenige Dialyseplätze wirtschaftlich.

Im Fall der zu betreuenden Dialysepraxis liegt eine Ringleitung vor. Durch Schläuche, die im Versorgungsraum verlegt sind, wird das Konzentrat zu den einzelnen Versorgungsplätzen transportiert. Über einen Anschluss an der Wand kann das Konzentrat bequem und hygienisch entnommen werden. Durch die Autosterilität ist eine Übertragung von Keimen auf den Weg der Ringleitung kaum möglich.

Durch die Ringform ist an keiner Stelle ein längerer Stillstand der Flüssigkeit möglich. Somit ist das Konzentrat immer gut durchmischt und es kann nicht zu Ablagerungen kommen, die den Verlust der Autosterilität bedeuten würden.

Auch wenn diese Form von der Hygiene gefordert wird, gibt es nicht viele echte Ringleitungen, sondern meist nur Strichleitungen. Bei diesen ist eine Leitung vorhanden, von der aus alle Dialyseplätze gespeist werden. Diese endet aber nach dem letzten Dialyseplatz, wodurch, gerade, wenn der letzte Dialyseplatz nicht durchgehend verwendet wird, es zum Stillstand der Flüssigkeit kommen kann. Auch wenn diese Methode nicht den hygienischen Standards entspricht, wird sie bis heute verwendet. Herr Dipl.-Ing. (FH) Ronald Knorre war der erste, der 2004 eine echte Ringleitung in einer Dialysepraxis installierte. [Knorre2004] [Schön1990]

Es ist inzwischen der Trend zu erkennen, dass Dialysepraxen von der zentralen Konzentratversorgung abkommen. Gründe liegen zum einem am Zweifel der Autosterilität des Konzentrats, zum anderen auch an der mangelnden Flexibilität, da zwei oder maximal drei Arten von Konzentrat hergestellt werden können. Ein Beispiel stellt dabei BiCart Select der Firma Gambro dar. Ähnlich wie bei der basischen Komponente wird hier ein Gemisch aus hoch konzentrierten Elektrolyten in patientenindividuellen Beuteln verwendet und dann mit destilliertem Wasser verdünnt. [Bie2011]

Es gibt auch Möglichkeiten, ein Granulat herzustellen und somit den Transport von Wasser möglichst zu vermeiden, aus dem das Konzentrat zum Großteil besteht. Auf der Website <http://www.freepatentsonline.com/EP0920304.html>, einer Schrift von Fresenius Medical Care, einem führenden Unternehmen im Bereich Dialyse, wird der Einsatz von Granulaten diskutiert.

2.3 Diplomarbeit zum Thema

2.3.1 Inhalt der Diplomarbeit

Es wurde bereits im Jahr 2004 zum Thema von Herrn Dipl.-Ing. (FH) Ronald Knorre eine Diplomarbeit verfasst und an der Fachhochschule Jena eingereicht.

Zu diesem Zeitpunkt war ein Auffüllen der Tanks noch nicht möglich, sodass neue Tanks von einer externen Firma geliefert werden mussten. Dies bedeutete, dass auf eine einfache Montage der entwickelten Apparatur zu achten war und keine Komponenten im direkten Kontakt mit dem Tank stehen oder sich im Tank befinden durften. Bei einem wiederholten Auswechseln der Tanks wäre der Sensor irgendwann am Tank verblieben, was den Verlust dessen bedeutet hätte. Somit wurde die Sensorik durch einen Schwimmerschalter realisiert, der im Schlauch positioniert wurde, der vom Tank wegführte. Der Anschluss an den einen Schlauch reichte als Montage aus.

Kugelhähne, die durch die TTL-Logik angesteuert wurden, schalteten auf den Tank, in dem sich Konzentrat befand.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde erstmals eine echte Ringleitung in einer Dialysepraxis installiert, oder zumindest konnte zum damaligen Zeitpunkt trotz intensiver Recherchen keine andere echte Ringleitung gefunden werden, obwohl diese aus hygienischen Gründen gefordert werden. [Knorre2004]

Eine Übersicht über diese Konstruktion ist in Abbildung 8 dargestellt.

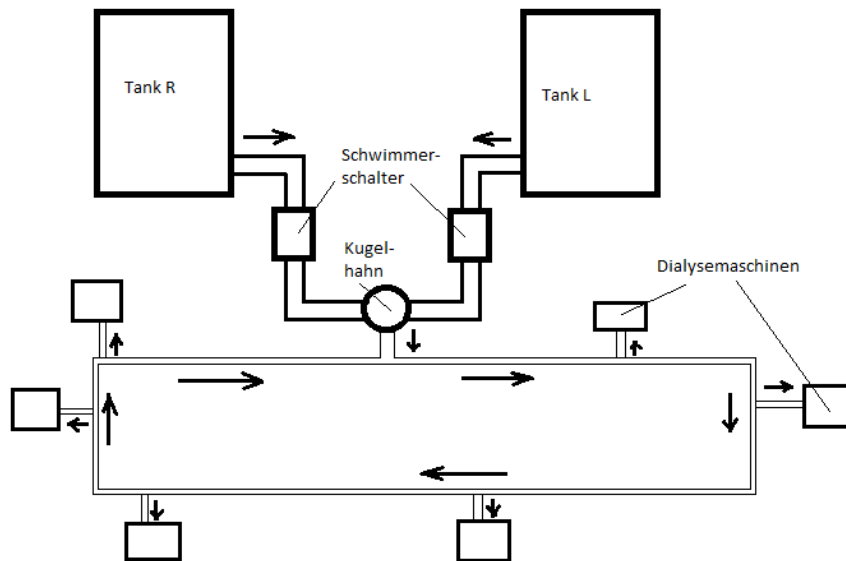


Abbildung 8: Alte Konstruktion. Mit Schwimmerschaltern wird der Füllstand gemessen. Das Konzentrat verbleibt in der Ringleitung bis es gebraucht wird und kommt nicht mehr in den Tank zurück. Die Steuerung erfolgt über eine TTL-Logik.

2.3.2 Praktische Erfahrungen

Es zeigte sich, dass die entworfene Konstruktion langfristig stabil funktionsfähig war. Dies konnte zum einen durch das Personal der Dialysepraxis wie auch durch den verantwortlichen Techniker und Entwickler der Konstruktion beobachtet werden.

Durch die Umstellung von auswechselbaren Einmaltanks auf wiederbefüllbare Tanks kam es zu Problemen mit den Schwimmerschaltern. Die auswechselbaren Tanks waren auf Rädern gelagert, somit war der Boden des Tanks höher gelagert als der Schwimmerschalter. Auf dem strömenden Konzentrat schwamm der Schwimmer und sobald kein Konzentrat aus den Tanks nachströmte, schloss der Schwimmerschalter innerhalb von Sekunden.

Durch den Umbau konnte auf die Räder am Tank verzichtet werden, was zur Folge hatte, dass der Boden des Tanks soweit nach unten gelangte, dass der Schwimmerschalter nicht mehr unterhalb des Bodens war. Der Schwimmer sank somit nur sehr langsam mit dem Flüssigkeitsstand des Tanks. Undeutliche Signale in der Zeit, in der der Schwimmerschalter halb gefüllt war, waren die Folge.

Wenn eine salzhaltige Flüssigkeit durch undichte Stellen austritt verdampft das Wasser, während das Salz an der Leckstelle auskristallisiert. Da flüssigkeitsführende Verbindungsstellen nicht dicht waren, wurde dies gerade bei der Verbindung des Schlauches zum Kugelhahn zum Problem.

Der Tank speiste nur die Ringleitung und wurde nicht in den Kreislauf eingebunden. Das heißt, dass das Konzentrat, wenn es einmal den Tank verlassen hatte, nicht mehr in

diesen zurückkehrte. Dies betraf aber auch mögliche Luftblasen, welche zwar in Luftfallen eliminiert wurden, da diese aber kaum geleert wurden, waren diese schnell wirkungslos.

Des Weiteren wurde die Pumpe, die das Konzentrat in der Ringleitungen bewegt mit 230 V Netzspannung betrieben, was ein sicherheitstechnisches Risiko darstellt, insbesondere wegen der lokalen Nähe zu Flüssigkeiten.

Die Konstruktion konnte über Jahre in Betrieb bleiben. Nach Begehungen, gerade durch die Hygiene konnte sie in Betrieb bleiben, da sie den Standards entsprach.

Ob es sich dabei um ein Medizinprodukt handelt ist umstritten, aber bis zum heutigen Tag wurde die Einstufung als solches nicht verlangt. Daraus folgt, dass es auch keine Forderung gibt, Tests, welche für Medizinprodukte vorgeschrieben sind, durchzuführen.

3 Material

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Auswahl der Geräte, die für die technische Umsetzung vorhanden sein müssen. Dies betrifft eine Steuerungselektronik, einen Sensor, der meldet, wann der Tank leer ist und einem Umschalter, der schließlich auf Befehl der Steuerung Konzentrat aus dem anderen Tank entnimmt. Dazu wird abgewogen, welche der Möglichkeiten sich für den Anwendungsfall eignet und es wird das Bauteil vorgestellt, für das sich am Ende entschieden wurde. Die Pumpe, welche das Konzentrat durch die Leitungen befördert, wird vorgestellt.

3.1 Steuerung

Zwischen den Sensoren am Anfang und der Aktion am Ende wird eine Steuerung benötigt, die bestimmt, wann von dem einen, auf den anderen Tank umgeschaltet werden soll. Vor der Auswahl von Sensor und Kugelhahn muss sich auf eine Art der Steuerung festgelegt werden, um eine Anpassung der anderen Elemente auf die Steuerung zu gewährleisten.

Die Steuerung muss genügend Ein- und Ausgänge für den Empfang von Signalen von zwei Sensoren, einem Kugelhahn und einer Ampel haben. Eine doppelte Ausführung für beide Ringleitungen ist zu beachten.

Die Schaltgeschwindigkeit spielt aufgrund der Aufgabenstellung keine große Rolle, da der Betrieb ungestört eine gewisse Zeit vorangeht. Nur alle 3 - 4 Tage wird ein Umschaltvorgang stattfinden.

3.1.1 TTL-Logik

Die Steuerung erfolgte bisher über eine Transistor-Transistor-Logik, die meist mit TTL-Logik abgekürzt wird. Sie wurde als äußerst robuste und kostengünstige Variante ausgewählt und da keine hohen Schaltzeiten verlangt sind, konnte sie ausschließlich mit Standard-TTL-Bausteinen erstellt werden.

Die Pegel 0 V und 5 V stellen jeweils eine logische 0 oder eine logische 1 dar. Welcher Pegel dabei welche logische Zahl darstellt, wird vom Entwickler selbst entschieden. Derzeit ist der Trend zu erkennen, dass immer kleinere Spannungen für neue logische Technologien verwendet werden. Während in den Zeiten, als TTL aktuell war, ein 5-V-Pegel genutzt wurde, sind heute 3,3-V- oder 2,7-V-Pegel aktuell.

Das Problem besteht in der nicht vorhandenen Flexibilität der Schaltung. So kann sie bei einer Änderung der Rahmenbedingungen nicht einfach umprogrammiert werden, sondern muss komplett neu konzipiert und neu gelötet werden.

Dazu müssen hohe Grundkenntnisse von Seiten des Konstrukteurs vorhanden sein und es muss, auch wenn Ein- und Ausgänge gleich bleiben, neues Material gekauft werden. Funktioniert die konzipierte Schaltung nicht wie gedacht, muss hoher Aufwand betrieben werden, um neues Material zu bestellen, eine Simulation in dem Sinne ist nicht möglich. TTL gilt nicht mehr als zeitgemäß, weshalb das Umsteigen auf eine zeitgemäße Steuerung bei einer Beschäftigung mit dem Thema empfohlen werden kann. [Knorre2004]

3.1.2 SPS-Steuerung

Die speicherprogrammierbare Steuerung, kurz SPS, ist eine zeitgemäße Steuerung. Über einen Computer wird mit einer anwenderorientierten, leicht erlernbaren Programmiersprache ein Programm geschrieben und dieses direkt in den Controller eingespeichert. Die Möglichkeit, den Controller auszulesen ist ebenfalls vorhanden.

Mit Grundkenntnissen in der Logik ist es bereits möglich, eine relativ komplexe Schaltung zu erstellen. Da diese nur virtuell besteht, ist jederzeit ein Umschreiben und eine Simulation ohne Kostenaufwand und dem Warten auf neue Teile möglich. Damit steigt die Flexibilität der Schaltung.

Es kann jederzeit auf einem Display abgelesen werden, welche Ein- und Ausgänge gerade aktiv sind, was bei der Fehlersuche einen entscheidenden Vorteil darstellt.

Es ist heute davon auszugehen, dass ab etwa 20 Ein- bzw. Ausgängen sich eine SPS-Steuerung im Vergleich zu TTL finanziell rentiert. [Wam2011]

3.1.3 Entscheidung für eine Steuerung

Am Ende wurde sich für das Crouzet Millennium 3 Einsteigerset entschieden, welches von der Firma Conrad GmbH vertrieben wird. Durch den Erwerb eines Einsteigersets, welches aus dem Controller, dem Programm für den Computer und dem Verbindungskabel besteht, waren Kompatibilitätsprobleme von vorn herein ausgeschlossen.

Das Modell XD26 230VAC wurde dabei gewählt, nach Conrad GmbH der Typ M3MaxStartErwAC (Bestellnr. 197234-85).

Da bei diesem Modell eine Spannungsversorgung mit Netzspannung möglich ist, ist der Gebrauch eines Netzteils nicht erforderlich.

Außerdem besitzt dieses Modell genügend Eingänge, um beide Kreisläufe getrennt voneinander anzusteuern. Eine Steuerung mit einem Controller je Kreislauf wurde schon aus Kostengründen abgelehnt. Auch falls eine Erweiterung der Controller stattfinden sollte, muss dann nur eine Erweiterung mit entsprechend vielen Ein- und Ausgängen angeschafft werden, was im Vergleich zu zwei Erweiterungen eine Kostenersparnis bedeutet. Auch eine gemeinsame elektrische Verbindung ist so möglich, was wiederum Aufwand und Kosten spart.

Der Nachteil besteht darin, dass im Fehlerfall immer gleich beide Kreisläufe ausfallen. Da nicht einfach bei Patienten, die mit einem Konzentrat versorgt werden, das andere verwendet werden kann, muss bei einem Ausfall der Techniker sofort vor Ort sein und kann so beide reparieren.

Der ausgewählte Controller besitzt 16 digitale Eingänge und 10 Relais als Ausgänge, von denen 8 Ausgänge für Stromstärken bis 8 A zugelassen sind und 2 Ausgänge für Stromstärken bis zu 5 A. Da keine derart hohen Stromstärken für den Anwendungsfall zu erwarten sind, ist diese Begrenzung völlig ausreichend.

Die Montage ist auf einer Hutschiene möglich, aber die SPS-Steuerung kann ebenso anders angebracht werden.

Abbildung 9 zeigt die Steuerung, welche verwendet wurde. Oben liegen die Ein- unten die Ausgänge.



Abbildung 9: Bild der verwendeten SPS-Steuerung

3.2 Sensor für die Bestimmung des Füllstandes

Es wird ein Sensor benötigt, der bestimmt, ob ein Tank leer ist, oder ob sich noch Konzentrat in diesem befindet. Er muss je nach Füllstand ein Signal an die Steuerung senden.

Dabei gibt es zwei Arten von Füllstandsensoren. Zum Einen sind dies die kontinuierlichen Füllstandsensoren. Ein Wert in Form einer Zahl wird ausgegeben, die beschreibt, wie viel Flüssigkeit sich in dem Tank befindet. Zum Anderen gibt es Füllstandgrenzschnalter, die ein digitales Signal senden, wenn der Füllstand einen bestimmten Level erreicht oder kein Signal senden, wenn dieser Level unterschritten wird. Im vorliegenden Fall reicht ein Füllstandgrenzschnalter völlig aus. Generell würden kontinuierliche Füllstandsensoren zum Einbau ebenfalls möglich sein, doch es müsste noch ein Grenzwert festgelegt werden, ab wann der Tank als leer zu bezeichnen ist. Die SPS-Steuerung bräuchte dafür, was ebenfalls angeboten wird, analoge Eingänge. Der Füllstandgrenzschnalter ist zu bevorzugen, da er völlig ausreicht und das Signal einfacher zu verarbeiten ist.

Durch den Rücklauf in den Tank kann es zu Verwirbelungen kommen. Ein kleiner Zulauf zum Tank ist durch den Rückfluss immer noch vorhanden.

Der Sensor muss auf alle Fälle lebensmittelecht sein, wenn er mit dem Konzentrat in Berührung kommt. Eine berührungslose Messung ist aber allgemein zu bevorzugen.

Im Folgenden sind Varianten aufgezeigt, mit denen der Füllstand gemessen werden kann.

3.2.1 Schwimmerkammer

Bis jetzt wurde die Sensorik über eine externe Schwimmerkammer betrieben. Diese wurde in den Abfluss des Tanks und vor den Umschnalter geschaltet.

Befindet sich im Schlauch Konzentrat, befindet sich der Schwimmer auf dem oberen Niveau und die Flüssigkeit fließt zum Umschnalter. Ein entsprechendes Signal wird an die Steuerung weitergeleitet. Ist kein Konzentrat mehr in der Leitung, sinkt der Schwimmer innerhalb von Sekunden zu Boden. Dieses schnelle Sinken kommt dadurch zustande, dass sich der Schwimmerschnalter vom Niveau her unterhalb des Bodens vom Tank befinden muss. Ist dies nicht der Fall, wie nach der Umstellung auf wiederbefüllbare Tanks, sinkt der Schwimmer sehr langsam und während dieser Zeit kann kein eindeutiges Signal an die Steuerung weitergegeben werden. In Kapitel 2.3.2 wurde bereits über Probleme gesprochen, die ein Umsteigen auf eine andere Variante nötig machen.

Gerade bei dieser Variante kann bezweifelt werden, ob sie mit Rückfluss noch funktionsfähig ist. Der Rückfluss bringt immer kleine Mengen Konzentrat zurück in den Tank,

sodass sich der Tank nicht mehr so plötzlich leert wie dies ohne Rücklauf der Fall wäre. Die Folge sind zum Einen unsaubere Schaltsignale, zum Anderen wird mehr Luft in den Konzentratkreislauf eingespeist.

3.2.2 Schwimmer

In den Tank könnte ein Schwimmer eingesetzt werden und dessen Position bestimmt werden. Eine Berührung mit der Flüssigkeit ist unabdingbar, was bedeutet, dass auf Lebensmittelechtheit geachtet werden muss.

Die Messung kann direkt über eine mechanische Verbindung erfolgen, wobei eine Apparatur oberhalb des Tanks angebracht werden müsste, was zu Problemen in der Befestigung führt. Weiterhin wäre ein zweites Loch im Deckel der Tanks notwendig, was ein vollständiges Endleeren der Tanks beim Einbau zur Folge hat.

Eine berührungslose Positionsbestimmung wäre ebenfalls möglich. Dabei muss der Schwimmer immer in der gleichen vertikalen bleiben, was die Umsetzung erschwert. Am Tank ist noch ein Steigrohr angebracht, an dem sich aber noch weitere Sensoren befinden, die durch einen Schwimmer im Steigrohr möglicherweise beeinflusst werden.

In den meisten Fällen ist hier nur eine kontinuierliche Messung möglich.

Da aber immer noch etwas Konzentrat im Tank verbleibt, entstehen keine Probleme mit dem Rücklauf.

3.2.3 Hydrostatische Bestimmung

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, am Boden des Tanks den hydrostatischen Druck zu messen und daraufhin dann auf den Füllstand zu schließen. Diese Variante wäre luftdruckabhängig, was aber kein Problem darstellen würde, wenn man den Tank nicht ganz komplett leert und genügend Sicherheit gibt. Hieraus ist bereits die Problematik erkennbar, dass diese Messung nur als kontinuierliche Messung realisierbar ist.

Eine direkte Berührung zwischen dem Sensor und dem Wasser ist bei dieser Messvariante unumgänglich.

Es muss immer gesichert sein, dass sich der Sensor am Boden des Tanks befindet, was gerade beim Auffüllen zu Problemen führen könnte, da es da zu Verwirbelungen im Wasser kommt. [Dil2011]

3.2.4 Messung mit Ultraschall

Es gäbe die Möglichkeit von oben oder auch an der Gefäßwand mit Ultraschall zu messen. Da die Schallgeschwindigkeiten von Luft und Wasser weit auseinanderliegen, wäre diese Variante durchaus denkbar. Um die Ultraschallwellen zu erzeugen ist allerdings ein Piezzokristall nötig, der teuer und gegen mechanische Stöße sehr empfindlich ist. Die aggressive Luft, die gerade durch das Konzentrat zustande kommt, würde diesen Kristall innerhalb weniger Monate zerstören. Außerdem wäre nur eine kontinuierliche Messung möglich.

Die Möglichkeit, über den Abfluss der Leitung mit Ultraschall zu bestimmen, ob noch Konzentrat in der Leitung ist, hat die gleichen Nachteile und auch in der Diplomarbeit von Herrn Dipl.-Ing. (FH) Ronald Knorre wurde der Schwimmerschalter dieser Variante vorgezogen. [Knorre2004] Eine Grenzmessung wäre bei dieser Variante möglich.

3.2.5 Optische Messung

Bei der optischen Messung wird die Absorption des Lichtes in einem bestimmten Medium gemessen. Da es sich um eine berührungslose Grenzmessung handelt, scheint diese Möglichkeit nicht schlecht zu sein. Gerade nach dem Auffüllen und durch den Rückfluss können sich aber an der Gefäßwand kleine Luftbläschen bilden und es würde so zu Störsignalen kommen. Da der Tank wahrscheinlich nicht ausreichend lichtdurchlässig ist, kann es auch hier zu Problemen kommen.

Im Dauerbetrieb muss durch eine Diode Licht erzeugt werden, was auf Dauer energetisch betrachtet keine optimale Lösung darstellt. Eine Grenzmessung würde hierbei ohne Probleme stattfinden können.

3.2.6 Induktive Messung

Bei der induktiven Messung wird eine Sendespule in die zu messende Umgebung gebracht. Diese wird mit Spannung versorgt und bildet so ein magnetisches Feld aus. In einer zweiten Spule wird anschließend eine Spannung induziert und gemessen. Bei der Änderung der Umgebungsbedingungen ist auch eine Änderung des induzierten Stromes zu verzeichnen.

Diese Art der Messung erfolgt meist mit Stäben, die in die Flüssigkeit getaucht werden. Bei der Auswahl müsste auf ein lebensmittelechtes Gehäuse der Spulen geachtet werden. Diese Sensoren sind für Grenzmessungen ausgelegt. Auch wenn diese Möglichkeit sich als nicht schlecht erwies, wurde doch eine andere Möglichkeit bevorzugt, da hierbei das Konzentrat mit dem Sensor in Berührung kommt und eine berührungslose Messung aus hygienischen Gründen bevorzugt wird. Zudem müssen zwangsläufig stromführende Teile in das gut leitende Konzentrat gebracht werden, was

im Fehlerfall durch die Ringleitung sogar zu körperlichen Schäden aller Patienten führen kann. Eine teure sicherheitstechnische Validierung wäre deshalb dringend erforderlich. [Bros2011]

3.2.7 Kapazitive Messung

Die Kapazität eines Kondensators ändert sich je nachdem, welche Medien das elektrische Feld durchdringt. Auf diesem Prinzip beruht die kapazitive Messung. Zwischen der aktiven Elektrode und dem elektrischen Erdpotential wird die Kapazität gemessen und eine Änderung dieser erfasst, indem sie die Schwingungsamplitude eines mit einem RC-Glied erzeugten Wechselfeldes beeinflussen, welche durch die nachfolgende Elektronik in ein Signal umgewandelt wird.

Die Sensoren werden an der Gefäßwand von außen angebracht, wodurch sie nicht mit dem Konzentrat in Berührung kommen. Es gibt somit weder mit Salzablagerungen noch mit der Lebensmittelechtheit Probleme.

Eine Kapazitive Messung ist nur bei Tanks möglich, die aus einem elektrischen Isolator bestehen, da elektrische Leiter, insbesondere Metalle als Abschirmung wirken. Da es sich bei dem Material, aus dem die Tanks gefertigt sind, um Kunststoff handelt, stellt dies kein Problem dar.

Kapazitive Sensoren sind Grenzschnalter, somit ist eine Verknüpfung mit einem digitalen Eingang der SPS-Schaltung ohne weiteres möglich. [ifm2011]

3.2.8 Entscheidung

Die kapazitiven Sensoren sind damit gut geeignet für die vorliegende Problemstellung. Für das Auffüllen der Tanks sind bereits Sensoren, die auf diesem Prinzip beruhen, angebracht. Da diese funktionieren, kann davon ausgegangen werden, dass weitere Sensoren mit diesem Prinzip ebenfalls richtige Signale senden.

Es wurde sich für die Sensoren KQ 6002 (Typ: KQ-3120NFPKG/2T) der Firma ifm electronic GmbH entschieden. Diese können mit Spannungen zwischen 10 und 36 V betrieben werden, was zum Vorteil hat, dass bei der Wahl der Umschalter, die in Kapitel 3.3 behandelt wird, eine kleinere Einschränkung der Spannungsversorgung besteht, wenn man am Ende beide Komponenten mit der gleichen Spannung betreiben möchte.

Ein Gewicht von etwa 100 g, die Abmessungen 48 mm Höhe, 20 mm Breite und 14 mm Tiefe und die einfache Montage mit vom Hersteller angebotenen Montageadaptern an einen Tank waren ausschlaggebende Kriterien, die zu dieser Wahl führten. An einer LED

kann man erkennen, ob der Sensor ein Signal gibt oder nicht, was bei einer späteren Fehlersuche von Vorteil ist.

Durch einen Leerabgleich wird der Sensor der Umgebung angepasst, womit auch bei der dicken Außenhaut der Kunststofftanks eine Messung ermöglicht wird. Dazu wird der Sensor an den leeren Tank gehalten, mindestens 20 mm über der Oberfläche der Flüssigkeit. Eine Programmier Taste wird für 2-6 s gedrückt, bis die LED zweimal schnell hintereinander blinkt. Welche der beiden Programmier Tasten gedrückt wird, hängt davon ab, ob man den Sensor als Öffner oder als Schließer verwenden will. Im vorliegenden Fall wurde sich für einen Schließer entschieden.

Nach dem Leerabgleich folgt bei wässrigen Medien noch ein Vollabgleich um die Funktion zu Optimieren. Dazu wird der Behälter gefüllt (oder der Sensor so verschoben, dass er anzeigt, dass Flüssigkeit im Tank ist. Die jeweils andere Programmier Taste wird mehr als 6 s gedrückt.

Ein Verriegeln des Sensors ist möglich. Dabei werden beide Tasten für 10 s gleichzeitig gedrückt. Für das Entriegeln wird der Vorgang wiederholt.

Abbildung 10 zeigt den verwendeten Sensor, dessen Länge zur Einordnung etwa 6 cm beträgt. Mit einem Adapter, der ebenfalls vom Hersteller bezogen werden kann, wurde dieser mit Kabelbinder am Steigrohr des Tanks befestigt.



Abbildung 10: Kapazitiver Sensor. Dieser wird mit der Seite, auf der er in der Abbildung liegt, am Tank angebracht. Die LED in der Mitte des Sensors auf der Oberseite zeigt den Schaltungszustand an. Mit den beiden Knöpfen links lässt sich der Leerabgleich vollziehen.

3.3 Umschalter auf den anderen Tank

Eine Umschaltung zwischen den Tanks musste gefunden werden, welche elektronisch ansteuerbar ist. Bei der Auswahl war zu beachten, dass eine Schalterstellung über Tage beibehalten wird, bis umgeschaltet wird.

Da die Speisung immer aus einem von zwei Tanks erfolgt und die Zuleitung einen weiteren Anschluss braucht, muss ein 3-Wege-Bauteil verwendet werden. Bei diesem ist es nicht notwendig, dass alle drei Zu- oder Ableitungen gleichzeitig geöffnet werden.

3.3.1 Magnetventil

Die Standardlösung für dieses Problem stellt das Magnetventil dar. In ein T-Stück, durch das die Flüssigkeit fließt, ist ein Anker eingebracht, welcher in der stromlosen Variante einen Zulauf vom Tank verschließt. Wird auf die Signalleitung Strom gegeben, baut sich um eine Spule ein Magnetfeld auf, welches dazu führt, dass ein Eisenstück angezogen wird. Dieses ist mit dem Anker verbunden, der sich somit auf den anderen Zufluss legt. Der bis dahin geschlossene Zufluss öffnet sich damit und der bis dahin geöffnete Zufluss schließt sich. Das Umschalten ist damit erfolgt. Nimmt man den Strom vom Magnetventil, schaltet dieser wieder in die Ausgangsposition.

Der Nachteil des Ventils besteht darin, dass über mehrere Tage ein Strom anliegt, was schon aus Gründen der Materialschonung nicht wünschenswert ist. Des Weiteren muss der Magnet stark genug sein, um den hydrostatischen Druck eines gefüllten 250 l-Tanks mit einer Höhe von 1,30 m zu halten, der auf den Anker drückt. [SFS2011]

Magnetventile sind auch mit kleinem Durchmesser erhältlich und sind so gut in den Kreislauf einbindbar.

3.3.2 Kugelhahn

Eine weitaus bessere, aber auch teurere Variante stellt dabei der Kugelhahn dar. Sein Aufbau ist in Abbildung 11 dargestellt.

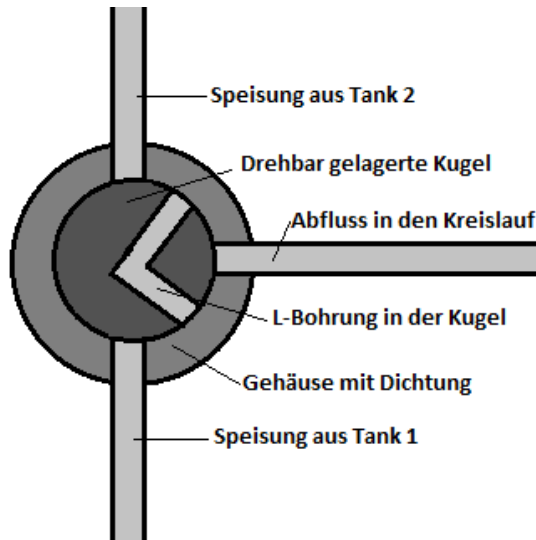


Abbildung 11: Aufbau eines Kugelhahns

Der Kugelhahn besteht in diesem Fall aus drei Zu- bzw. Ableitungen. Diese münden in das Gehäuse des Kugelhahns in dessen Mitte sich eine drehbar gelagerte Kugel befindet, die mit dem Gehäuse dicht abschließt. In dieser Kugel ist wiederum eine Bohrung. Es gibt dabei T-Bohrungen, die es erlauben, dass alle drei Zuleitungen zur gleichen Zeit geöffnet sind. In Abbildung 11 ist, wie es auf für den Anwendungsfall benötigt wird, eine L-Bohrung vorhanden. Die Ableitung zum Kreislauf ist dabei immer geöffnet, während sich die beiden Zuleitungen von den Tanks abwechselnd öffnen und schließen. Es können auch alle Zuleitungen geschlossen werden, wenn die Kugel in eine Position gebracht wird, in der sie keine Zuleitung frei gibt, aber diese Anwendung ist hier nur beim Umschalten vorgesehen. Ansonsten sollte diese vermieden werden.

Da ein Rücklauf in den Tank erfolgen soll, ist ein zusätzlicher Kugelhahn im Rücklauf einzubauen. Der Zufluss, der von den verlegten Schläuchen kommt, würde damit in der Mitte sein und die Abflüsse zu den Tanks an den äußeren Seiten.

Der Kugelhahn braucht Strom um von einer Position in die andere verfahren zu werden. Wenn kein Tank gerade leer wird, ist ein stromloser Betrieb möglich, sich beim Abschalten des Stromes die Schalterstellung nicht ändert. Durch den hydrostatischen Druck wird die Kugel weiter in das Gehäuse gepresst, was kein Problem darstellt. Ein Umschalten allein durch den hydrostatischen Druck oder durch ähnliche Phänomene ist daher nicht möglich.

3.4 Entscheidung

Trotz intensiver Recherchen und Kontaktaufnahme mit vielen Herstellern und Vertreibern konnte kein Kugelhahn gefunden werden, dessen Bohrung einen solch kleinen Durchmesser hat wie die Leitungen, die in der Dialysepraxis verlegt sind oder die Leitungen von den Tanks. So wurde sich für den kleinstmöglichen Durchmesser entschieden, der vorhanden war. So hat das Gewinde eine Größe von G 1/2“.

Die Entscheidung fiel auf den Kugelhahn KH 12 ELI 24 ES der Firma Landefeld Druckluft und Hydraulik GmbH, zum einen, weil dieser den Anforderungen am ehesten entsprach, zum anderen, weil sich bereits zwei baugleiche Modelle im Betrieb bewährt haben und diese auch weiter verwendet werden können. Beim Einbau stellte sich heraus, dass ein Kugelhahn nach einer Betriebsdauer von 8 Jahren an der elektrischen Steuerung einen Fehler aufwies und so nicht mehr funktionierte. So musste dieser Kugelhahn ausgetauscht werden. Er konnte aber nachträglich repariert werden und dient heute als Ersatz. Selbst am defekten Kugelhahn gab es trotz des Betriebs in einer aggressiven Umgebung keine Fehler, die von dieser her rührten. Der andere Kugelhahn konnte auch nach dieser Lebensdauer ohne Reparatur in Betrieb bleiben.

Der genannte Kugelhahn kann mit einer Spannung von 12-48 V in Wechsel- oder Gleichspannung betrieben werden. Die in Kapitel 3.2.8 gewählten Sensoren können ebenfalls bei Gleichstrom mit einigen dieser Spannungen betrieben werden. Die Erzeugung einer Spannung für beide Bauteile spart später Bauteile und Arbeitsaufwand.

Die eingebaute Handnotbetätigung dient dazu, dass beim Ausfall der Anlage weiter dialysiert werden kann. Durch einen weiteren manuellen Schalter kann zwischen elektrischen und manuellen Betrieb gewählt werden. Eingebaute Endlagenschalter signalisieren, wann die Spannungsversorgung abgeschaltet werden kann.

Ein Lebensmittelechtheitszertifikat liegt bei dem aus Edelstahl gebauten Kugelhahn vor. Es ist zu beachten, dass der Edelstahl nicht in unmittelbaren Kontakt mit Messing kommt, aber dies stellt kein Problem dar, da alle Zuleitungen aus Kunststoff bestehen. Abbildung 12 zeigt den Kugelhahn, für den sich entschieden wurde.



Abbildung 12: Bild des eingebauten Kugelhahns

3.5 Pumpe

Eine Pumpe sollte eingebaut werden, die das Konzentrat durch die Ringleitung befördert. Da in der Firma noch Pumpen dieser Art vorhanden waren und diese vom Hersteller der Dialysegeräte ausgewiesen werden, wurde pro Kreislauf eine Pumpe vom Typ M42x30/l vom Hersteller Kählig Antriebstechnik GmbH in Hannover verwendet.

Diese Pumpe wird mit einem Gleichstrommotor mit Permanentmagnet betrieben. Die Bemessungsspannung beträgt 24 V, was gerade wegen der Nähe zu Flüssigkeiten als Vorteil klar herauszustellen ist.

Die vom Hersteller angegebene minimale Lebensdauer beträgt nur 3000 Stunden, was bedeutet, dass diese Pumpe bei einem Betrieb von durchschnittlich 8 Stunden täglich, was in einer Dialysepraxis durchaus realistisch ist, nur ein Jahr minimale Lebensdauer hat. Es muss darauf geachtet werden, dass die Pumpe leicht ausgewechselt werden kann.

4 Zusammenschaltung der Komponenten

Das Zusammenschalten der in Kapitel 3 ausgewählten Komponenten wird in diesem Kapitel vorgestellt. Dabei wird erst auf die Programmierung der SPS-Steuerung eingegangen, dann auf den Anschluss der Schläuche und schließlich wird die elektrische Verknüpfung unter die Lupe genommen.

4.1 Programmierung der SPS-Steuerung

Bei der SPS-Steuerung handelt es sich zweifelsfrei um das Herzstück der gesamten Konstruktion. Diese kann mit einer leicht zu erlernenden Programmiersprache auf den Anwendungsfall angepasst werden. Im Folgenden ist das Programm vorgestellt, welches in den Controller geschrieben wurde und welches die Abläufe zwischen Sensor und Kugelhahn steuert.

4.1.1 Deklaration der Ein- und Ausgänge

Die Programmierung der SPS-Steuerung kann bequem mit dem PC vorgenommen werden. Die Software ermöglicht das Einsetzen virtueller Logikbausteine und erweiterter Bauelemente für die Vernetzung von Ein- und Ausgängen. Dazu müssen zuerst Ein- und Ausgänge klar deklariert werden.

Da die gesamte Steuerung wegen zwei chemisch verschieden zusammengesetzten Konzentraten doppelt gebaut werden muss, welche unabhängig voneinander betrieben werden, ist eine doppelte Vergabe notwendig. Dies sind eine 2er Konzentration und eine 4er Konzentration. In den folgenden Erklärungen wird nur noch von den Ein- und Ausgängen vom Kreis mit 2er Konzentrat gesprochen, welche aber analog auch für den Kreis mit 4er gelten.

Eingang	Bedingung, unter der ein Signal geliefert wird	Eingang
Kreis mit 2er		Kreis mit 4er
I1	Konzentrat befindet sich in Höhe des Sensors in Tank 2R oder Tank 4R	IA
I2	Konzentrat befindet sich in Höhe des Sensors in Tank 2L oder Tank 4L	IB
I3	Der Kugelhahn für den Zulauf befindet sich in der Endlage, wo er von Tank 2R oder Tank 4R speist	IC
I4	Der Kugelhahn für den Zulauf befindet sich in der Endlage, wo er von Tank 2L oder Tank 4L speist	ID
I5	Der Kugelhahn für den Rücklauf befindet sich in der Endlage, wo er den Tank 2R oder den Tank 4R speist	IE
I6	Der Kugelhahn für den Rücklauf befindet sich in der Endlage, wo er den Tank 2L oder den Tank 4L speist	IF

Tabelle 1: Eingänge der SPS-Steuerung

Ausgang	Aktion, die durch Signal ausgelöst wird	Ausgang
Kreis mit 2er		Kreis mit 4er
O1	Schaltung auf Tank 2R oder Tank 4R, wenn das Relais am Ausgang geschlossen ist. Wenn es offen ist, Schaltung auf Tank 2L oder Tank 4L	O6
O2	Kugelhähne werden mit Strom versorgt, sodass ein Umschalten erfolgen kann	O7
O3	Rote LED der Ampel leuchtet	O8
O4	Gelbe LED der Ampel leuchtet	O9
O5	Grüne LED der Ampel leuchtet	OA

Tabelle 2: Ausgänge der SPS-Steuerung

Zum besseren Verständnis wurde in Abbildung 13 die Ein- und Ausgangsbelegung vom Kreis mit 2er Konzentrat nochmals graphisch dargestellt.

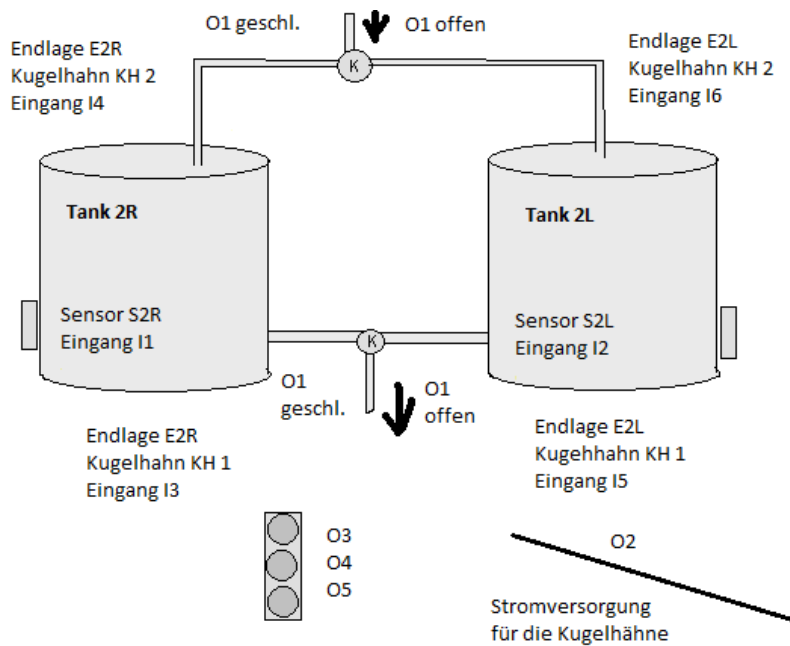


Abbildung 13: Entsprechungen der Aus- und Eingänge der SPS-Steuerung

Das Relais am Ausgang O1, welches steuert, auf welchen Tank geschaltet wird, ist geschlossen, wenn auf Tank 2R geschaltet wird und offen, wenn auf Tank 2L geschaltet wird. Der Ausgang O2 regelt nur, ob der Kugelhahn mit Strom versorgt wird, nicht aber, in welche Richtung sich der Kugelhahn dreht.

4.1.2 Einzelschaltungen für verschiedene Problemfelder

Um das komplexe Problem der Schaltung für die SPS-Steuerung fassen zu können, wurde dieses in drei Teilbereiche zerlegt, für die dann einzelne Schaltungen entworfen wurden.

Diese Bereiche sind:

1. **Steuerung mit den Sensoren**
2. **Abschaltung des Motorstroms mit dem Endlagenschalter**
3. **Ampelsteuerung**

Alle Zeiten, die im Timer eingespeichert wurden, sind geschätzte Zeiten und haben somit keine wissenschaftliche Begründung. Sie haben sich in der Praxis bewährt und sind damit für den Gebrauch an dieser Stelle geeignet.

4.1.2.1 Steuerung mit den Sensoren

Ein Umschalten des Kugelhahns findet immer dann statt, wenn ein Tank leer und der andere voll ist. Bei der Schaltung an einen Tank wird auf den Ausgang O1, wo das Relais für die Umschaltung auf diesen Tank liegt, ein Signal gegeben. Soll auf den anderen Tank geschaltet werden, ist das Relais geöffnet. In Kapitel 4.3.4 wird noch genauer auf die elektrische Beschaltung des Kugelhahns eingegangen.

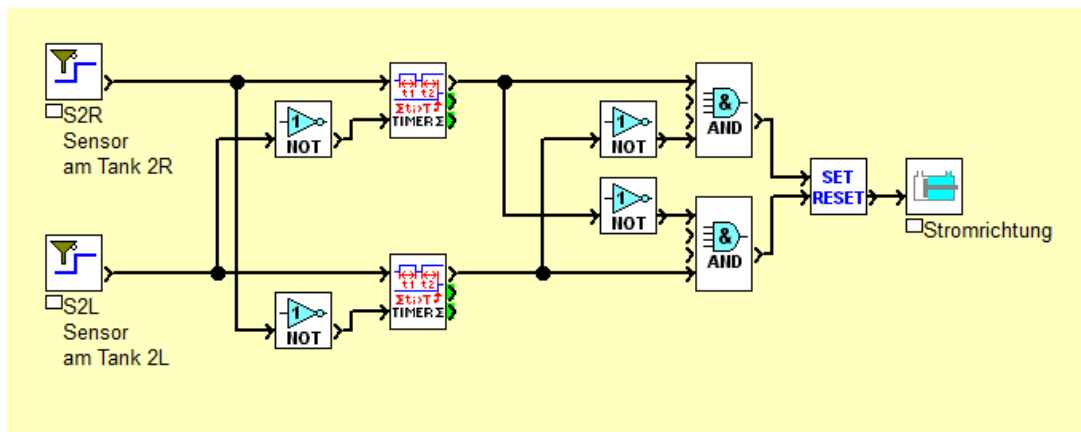


Abbildung 14: Teilschaltbild Sensoren. Je nachdem, welcher Sensor geschaltet ist, erfolgt eine Umpolung der Stromrichtung, womit der Kugelhahn in die erforderliche Position gebracht wird.

Um das Umschalten zu realisieren, wurde ein Element set/reset eingesetzt, welches sich in der Abbildung 14 vor dem Ausgang befindet. Dies liefert immer dann ein Signal, wenn der Tank, an dem der Sensor liegt, der I1 beschaltet, gefüllt ist, während der Tank auf I2 leer ist. Dieses Signal wird auch weiter geliefert, wenn Tank 2L bereits wieder aufgefüllt wurde. Damit leert sich Tank 2R immer vollständig. Reset, was bedeutet, dass kein Signal mehr gegeben wird, wird betätigt, wenn Tank 2R leer ist, Tank 2L aber gefüllt. Somit öffnet sich das Relais und ein Umschalten des Kugelhahns erfolgt erst dann, wenn der erste Tank leer ist. Wird Tank 2R wieder gefüllt erfolgt ebenfalls erst ein Umschalten, wenn Tank 2L leer ist.

Da sich der Pegelstand sehr langsam senkt, kann es vorkommen, dass der Sensor kein klares Signal liefert, also in kurzer Zeit immer wieder ein und ausschaltet, wie dies nach der Umstellung auf wiederbefüllbare Tanks bei den Schwimmerkammern der Fall war. Um dies abzufedern, wurde ein Timer eingebaut. Die Schaltung reagiert damit erst, wenn das Signal, welches anzeigt, dass der Tank voll ist, für insgesamt 5 Minuten ausbleibt. Dieser Wert ist lediglich ein willkürlich festgelegter Schätzwert, der jederzeit geändert werden kann, wenn sich dieser in der Praxis nicht bewähren sollte.

Um diesen Timer, der in Abbildung 14 gleich hinter dem Eingang liegt, zurückzusetzen, damit bei der nächsten Ansteuerung nach einigen Tagen wieder die 5 Minuten gewartet

wird, ist ein Reset, also ein auf Null setzen, nötig. Dies wird durch das Auffüllen, welches irgendwann stattfindet ausgelöst. Dazu sind auch die NOT- Elemente vor den Timern nötig. Würde man auf das Reset verzichten, wäre die Pufferung nur nach dem ersten Lauf möglich. Da auf einen Tank erst zurückgeschaltet wird, wenn dieser voll ist, stellt diese Position des Resets eine gute Möglichkeit dar.

Beim Auffüllen sind die 5 Minuten Wartezeit nicht eingestellt und so reagiert die Schaltung sofort, wenn beide Tanks leer waren und dann der Tank als erstes aufgefüllt wird, aus dem nicht momentan gespeist wird.

4.1.2.2 Abschaltung mit Endlagenschalter

Nur mit der Steuerung der Sensoren ist grundsätzlich ein Betrieb möglich. Allerdings ist so der Motor des Kugelhahns immer an die Stromversorgung angebunden. Es ist für diesen aber schonender, nur dann mit Strom versorgt zu werden, wenn dieser auch für den Gebrauch benötigt wird. Weiterhin befindet sich im Kugelhahn eine Heizung, die in Betrieb ist, wenn Strom anliegt. Da diese Heizung nicht benötigt wird und ein Betrieb nur Energieverschwendung darstellen würde, muss der Strom abgeschaltet werden, wenn der Kugelhahn nicht gerade umschaltet und nur angeschaltet werden, wenn dies benötigt wird.

Im Kugelhahn sind Endlagenschalter angebracht. Wird eine der beiden Endlagen erreicht, wird ein Signal an die SPS-Steuerung gesendet.

Dieses Problem stellt innerhalb der Programmierung die komplexeste Schaltung dar und wird deshalb nochmals in zwei verschiedene Problemstellungen unterteilt.

4.1.2.2.1 Abschaltung nach normalem Betrieb

Wird ein Tank leer, so muss das Relais bedient werden, welches bestimmt, auf welchen Tank geschaltet wird und der Kugelhahn mit Strom versorgt werden. Sobald beide Kugelhähne die neue Lage erreicht haben, soll die Stromversorgung abgeschaltet werden. Dies stellt den zweiten Fall dar, der regelt, wann eine Stromversorgung einsetzen muss und wann sie wieder ausgesetzt werden kann.

Die einfachste Lösung dieses Problems liegt in einer zeitlichen Steuerung, bei der nach einer bestimmten Zeit der Strom vom Kugelhahn genommen wird. Dass der Kugelhahn dabei länger als benötigt betrieben wird, spielt dabei nicht die Rolle, da wegen der langen Verweildauer an einem Tank der Kugelhahn auch so nur sehr kurze Zeit betrieben wird. Er bleibt in seiner Endlage stehen. Der Nachteil dieser Variante besteht darin, dass vom Kugelhahn keine Rückantwort gegeben wird und so keine Möglichkeit besteht, Fehler anzuzeigen. Steht der Kugelhahn in einer Position außerhalb des normalen Spielraums, was nur mit einer Betätigung der Handnotsteuerung möglich ist, kann es außerdem vorkommen, dass der Strom genommen wird, wenn der Kugelhahn sich in einer Lage be-

findet, bei der der Kreislauf von keinem Tank versorgt werden kann. Wird der Kugelhahn elektrisch betrieben, verfährt er sich nur innerhalb des benötigten 90°-Winkels und bleibt auch mit Stromversorgung stehen, sobald er diese Position erreicht hat. Werden im inneren des Kugelhahns die entsprechenden Endlagenschalter verschoben, kann es auch zu solchen Fehlfunktionen kommen. Da dazu der Kugelhahn geöffnet werden müsste, ist dies nicht zu erwarten. Die Ampel würde bei einer Fehlstellung zwar funktionieren, aber eine Konzentratversorgung wäre in der gesamten Praxis nicht möglich. Dies führt dazu, dass der gesamte Kreislauf leer läuft und die Dialysemaschinen einzeln auf Alarm schalten. Für das Personal ist es ein hoher Aufwand, den Alarm für jedes einzelne Gerät auszuschalten. Für die Patienten verlängert sich durch solch eine Störung, die leicht vermeidbar ist, die Dialysezeit.

Es wurde sich aus den oben stehenden Nachteilen für die Nutzung der am Kugelhahn eingebauten Endlagenschalter entschieden und diese wie in Abbildung 15 programmiert.

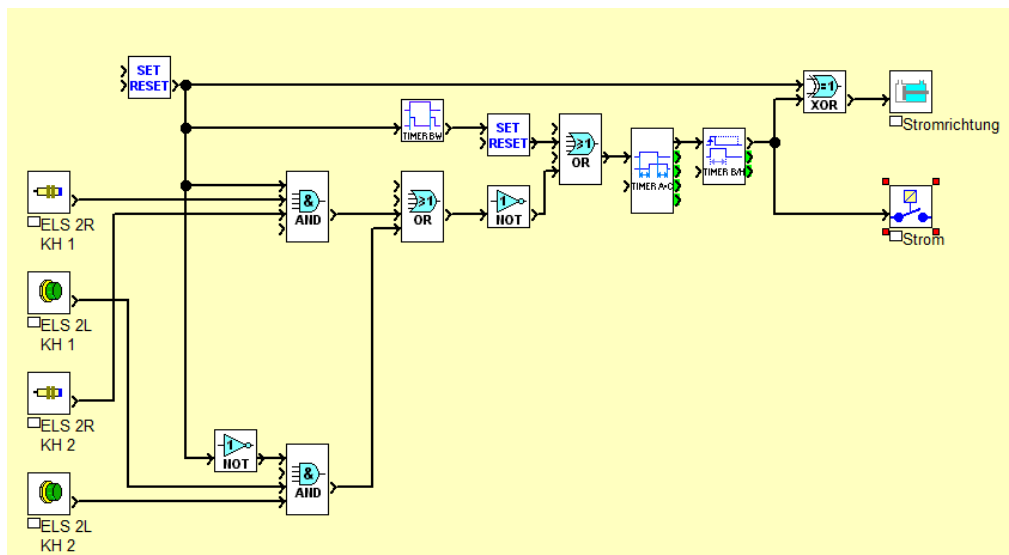


Abbildung 15: Teilschaltbild Endlagenschalter. Es wird der Fall betrachtet, dass ein Tank voll ist und der andere leer. Es müssen für beide Kugelhähne die entsprechenden Endlagen aktiv sein, damit die Spannungsversorgung des Kugelhahns abschaltet.

Die zugehörigen Endlagenschalter sind mit AND verknüpft, womit sicher gestellt wird, dass beide Kugelhähne die Endlage erreicht haben. Es muss außerdem sichergestellt werden, dass die richtigen Endlagenschalter aktiv sind. Wäre dies nicht der Fall, würde die Stromzufuhr direkt nach dem Einschalten wieder ausgeschaltet werden. Auch für den Fehlerfall ist es wichtig, dass die richtige Endlage schaltet. So wurde an diese AND-Verknüpfung außerdem das Endsignal von Kapitel 4.1.2.1 angebracht. Im Fall des zweiten Tanks, wo kein Signal auf dem Ausgang anliegt, wurde dies negiert und dann AND-verknüpft.

Der Timer, welcher sich in Abbildung 15 im zweiten Abzweig nach der SET/RESET-Einheit ganz vorn befindet, gibt bei jeder Flanke der SET/RESET-Steuereinheit von Kapitel 4.1.2.1 einen Impuls, welcher auf eine weitere SET/RESET-Einheit geschickt wird und damit die Stromversorgung so lange frei gibt, bis er durch die Endlagenschalter resettet, also auf Null gesetzt wird.

Das Relais der Stromversorgung schließt sich jetzt also genau dann, wenn die SET/RESET-Einheit ein positives Signal ausgibt oder, wenn die beiden entsprechenden Endlagenschalter nicht intakt sind.

Hat der Kugelhahn nach 7 Minuten seine Endlage noch nicht erreicht oder kommt das Signal des Endlagenschalters nach dieser Zeit nicht bei der Schaltung an, schaltet sich die Stromversorgung automatisch ab. Hierfür wurde der Timer vor dem Ausgang O2 eingebaut. Vor diesem war ein weiterer Timer nötig, da dieser beim ersten Betrieb nach dem Einsatz dieser noch nicht ordnungsgemäß funktioniert und ein Reset nötig ist, welches der andere Timer beim ersten Einschalten übernimmt. Die Richtung des Kugelhahns ändert sich immer nach einer Minute. Nach zwei Minuten befindet sich der Kugelhahn damit wieder in der Ausgangslage, von der er gekommen ist, wenn er nicht manuell verstellt wurde. Es ist wichtig, dass sich der Kugelhahn nach einer ungeraden Anzahl an Läufen abschaltet. Er bleibt damit am Ende in der Lage, welche nicht die Ausgangslage ist. Dies ist dann wahrscheinlich die Ziellage. Da jeweils nach einer Minute eine Umpolung stattfindet, ist dies hier gegeben.

4.1.2.2.2 Beide Tanks sind voll oder leer, aber die Kugelhähne haben nicht die gleiche Position

Der zweite Fall, bei dem der Kugelhahn mit Strom versorgt werden muss, ist der, dass beide Tanks den gleichen Füllstand, also voll oder leer, haben, aber die Kugelhähne nicht beide in der gleichen Richtung liegen.

Die Schaltung ist in Abbildung 16 zu sehen.

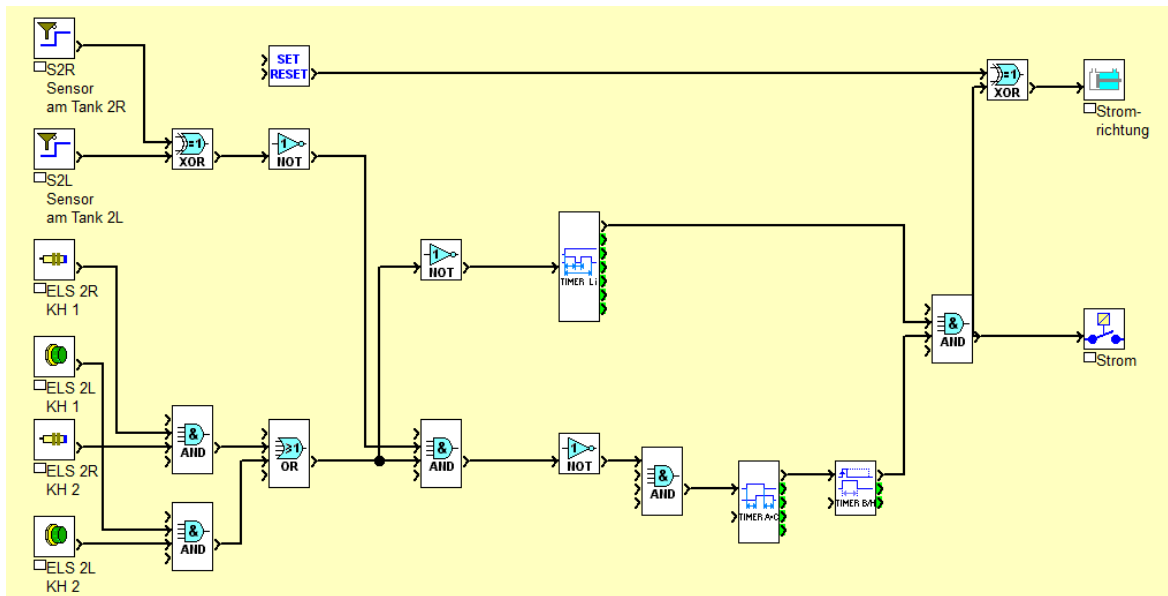


Abbildung 16: Teilschaltbild Endlagenschalter. Sind beide Tanks auf dem gleichen Niveau, müssen die Kugelhähne in der gleichen Position stehen, wobei es keine Rolle spielt, in welcher Position. Ein hin- und herfahren des Kugelhahns bei leeren Tanks soll vermieden werden.

Sobald nicht zwei zugehörige Endlagenschalter geschaltet sind, ist unter der Bedingung, dass beide Tanks voll bzw. leer sind ist die Stromversorgung geschaltet.

Dass zwei zugehörige Endlagenschalter geschaltet sind, wird mit zwei AND-Elementen und anschließend einer OR-Verknüpfung programmiert. Dies bedeutet, dass entweder die Endlagenschalter R oder die Endlagenschalter L der Kugelhähne 1 und 2, das heißt vom Vor- und vom Rücklauf, geschaltet sein müssen. Über das negierte XOR der beiden Eingänge wird geprüft, dass beide Tanks wirklich das gleiche Niveau haben. Ist dies nicht der Fall, reagiert dieser Teil der Schaltung nicht.

Für eine Drehung des Kugelhahns um 90°, benötigt dieser laut Hersteller 10 s in Leerlauf, für eine Drehung um 360° damit 40 s. Mit einer Sicherheit von 50% sollte der Kugelhahn nach einer Minute aus jeder Position seine Endlage erreicht haben. Ist dies nach dieser Zeit nicht der Fall, wird mit Hilfe eines Timers die Drehrichtung des Kugelhahns umgekehrt, somit die Stromrichtung umgepolt. Der Grund hierfür liegt darin, dass der Kugelhahn im elektrischen Betrieb nicht über Endlagenschalter hinaus fährt, um ihn in eine andere Lage zu bringen ist ein manueller Betrieb erforderlich. Ist ein Kugelhahn nicht verfahrbar, weil der manuelle Betrieb statt des elektrischen an einem Kugelhahn eingestellt ist, dreht sich der andere erst für eine Minute in die Richtung, in der der andere Tank versorgt wird, dann wird umgepolt und der Kugelhahn nimmt die gleiche Lage ein, wie der erste. Die Stromversorgung schält ganz normal ab. Ist diese Schaltung nicht bewusst herbeigeführt worden, wie bei Wartungsarbeiten, oder wenn in einem Tank eine Verschmutzung vorliegt, kommt es erst zu Problemen, wenn dieser Tank leer, der andere hingegen voll ist. Für diesen Fall ist keine schaltungstechnische Lösung möglich und es muss manuell nach dem Fehler gesucht werden. Über die Ampel, deren Steuerung in

Kapitel 4.1.2.3 erläutert wird, wird ein Fehler gemeldet, damit nach den Kugelhähnen geschaut werden kann, ohne dass es zu Ausfällen in der Dialyse kommt.

Im normalen Betrieb wird diese Schaltung nicht benötigt. Sobald allerdings die Handnotbetätigung betrieben wird, ist sie wichtig. Es wird auch dadurch kontrolliert, dass beide Kugelhähne ordnungsgemäß schalten und die Endlagenschalter sowie die dahinter stehende Elektronik intakt sind.

4.1.2.3 Ampelsteuerung

Die Ampelschaltung zeigt an, ob beide Tanks voll sind (grün), einer leer ist (gelb) oder beide leer sind (rot). Außerdem ist eine einfache Fehlerausgabe eingebaut. Dies ist nach dem Schaltbild in Abbildung 17 programmiert.

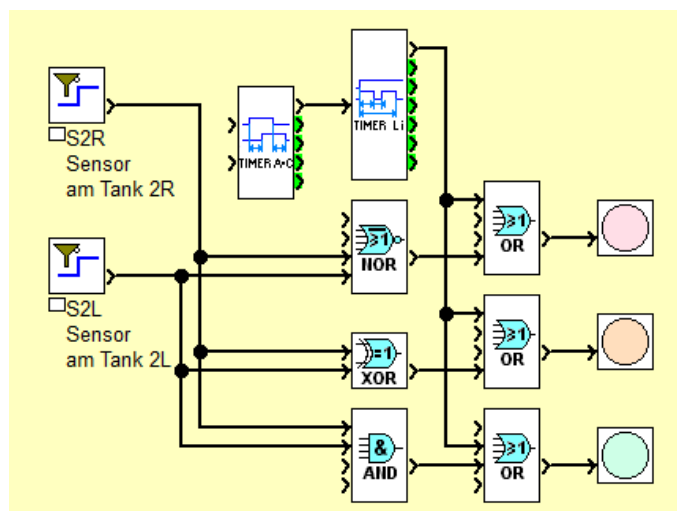


Abbildung 17: Teilschaltbild Ampelschaltung. Die Ampel zeigt die Füllstände der Sensoren an und ist gleichzeitig eine Ausgabe für Fehler in der Schaltung.

Mit entsprechenden Verknüpfungen der beiden Sensoreingänge, also NOR für rot, XOR für gelb und AND für grün wird auf die Ampel der Status gegeben.

Steht der Kugelhahn länger als 3 Minuten unter Strom blinken die beiden LEDs, die bei der Ampel im aktuellen Status gerade nicht leuchten. Dies dient zur Anzeige von Fehlern wie beispielsweise, dass der Kugelhahn nicht die entsprechende Endlage erreicht hat oder bei gleichen Füllständen beide Kugelhähne nicht auf einen Tank geschaltet sind.

Für diese Funktion sind die beiden Timer verantwortlich. Auf den Eingang liegt direkt das Signal, welches auch auf dem Relais liegt, das dem Kugelhahn mit Spannung versorgt. Der erste Timer sorgt dafür, dass es die ersten drei Minuten zu keiner Reaktion kommt. Für das Blinken der Ampel ist der zweite Timer verantwortlich, der nichts weiter macht, als 2 s ein Signal zu geben und die nächsten zwei Sekunden nicht.

4.1.3 Vollständige Schaltung

Die einzelnen Teilschaltungen wurden entsprechend verknüpft und daraus ergibt sich das vollständige Schaltbild, das in Abbildung 18 zu sehen ist. Dieses wurde aufgrund der beiden Kreisläufe dupliziert und dann in den Controller eingeschrieben.

Eine Verknüpfung der beiden Kreisläufe gibt es, welche dafür sorgt, dass nicht alle vier Kugelhähne auf einmal schalten. Dies kann beispielsweise beim Einschalten nach einer Wartung der Fall sein. Die Spannungsversorgung, auf die in Kapitel 4.3.2 noch näher eingegangen wird, konnte entsprechend kleiner dimensioniert werden. Dadurch, dass nach 8 Minuten die Kugelhähne stromlos geschaltet werden, blockiert ein defekter Kreislauf den anderen nicht, wenn der Fehler bei den Kugelhähnen oder deren elektrischer Verknüpfung liegt. Die Zeit von 7 Minuten bedeutet, dass der Kugelhahn mindestens drei Mal zu jeder Endlage fahren konnte. Hat dieser nach dieser Zeit noch keine Endlage erreicht, kann mit Sicherheit von einer Störung ausgegangen werden, die technisches Personal beheben sollte. Damit der Fehler an der Ampel trotzdem weiter angezeigt wird, wird das Signal hierfür schon vor dem Timer, der für das Abschalten verantwortlich ist, abgenommen.

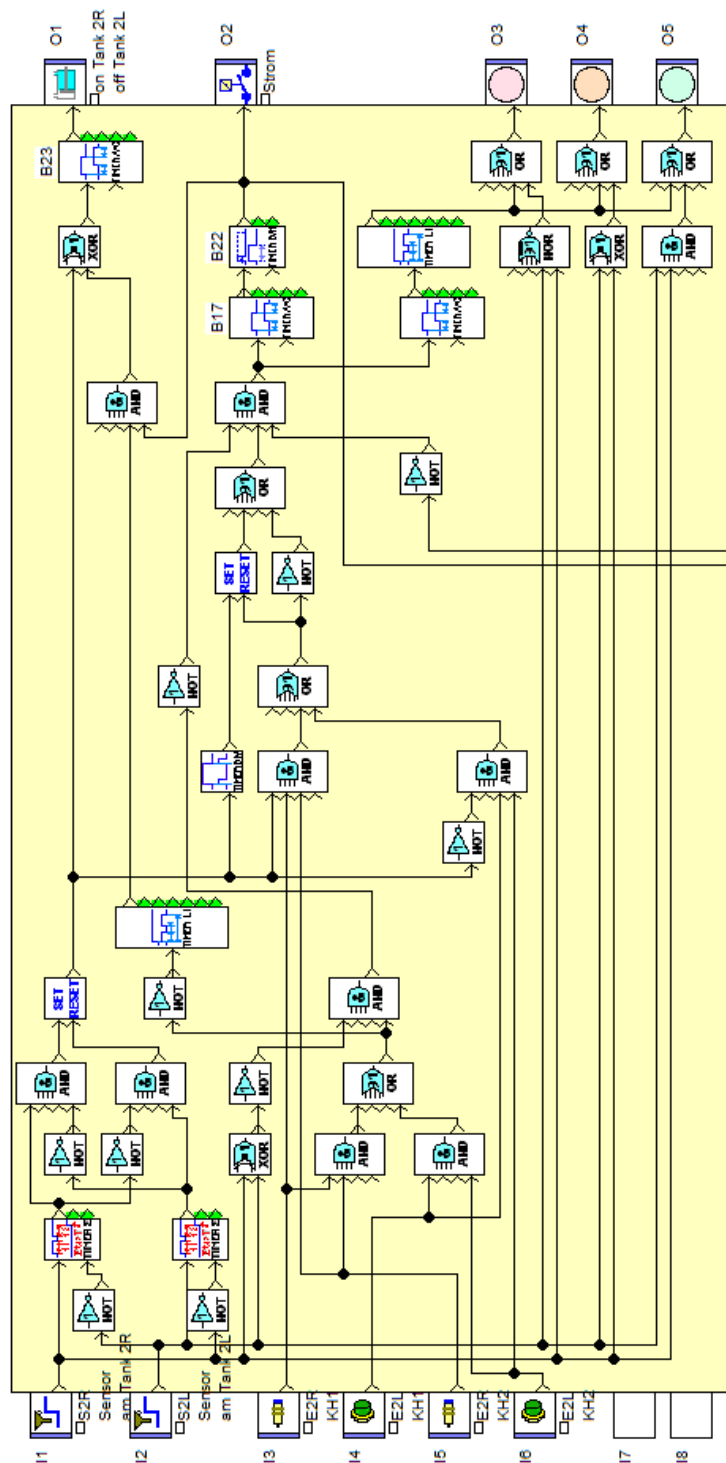


Abbildung 18: Komplette Schaltung

4.2 Mechanische Zusammenschaltung

Da es sich bei dem Konzentrat um eine Flüssigkeit handelt, ist es wichtig, Übergänge zwischen den Komponenten und den Schläuchen zu finden, welche dicht sind und einem Betrieb von mehreren Jahren standhalten. Wichtig ist es, dass die Übergänge aus einem Material bestehen, welches lebensmittelecht ist, da das Konzentrat unmittelbar mit dem Blut in Berührung kommt. Als Hersteller für die Übergänge wurde die Firma Serto GmbH gewählt, die diese in vielen Varianten vertreibt. Dies bietet sich an, da Teile dieses Herstellers bereits im Einsatz mit dem Konzentrat waren.

4.2.1 Anschluss des Kugelhahns an die Schläuche

Zwischen dem Kugelhahn und den Schläuchen, die zum Tank führen, kam es in der Vergangenheit oft zu Kristallbildung, da die Anschlussstellen nicht dicht waren.

Von den Tanks führen flexible Plastikschläuche mit einem Innendurchmesser von 8 mm zum Kugelhahn. Für diese wurden Übergänge der Firma Serto GmbH bestellt, die in den Kugelhahn eingeschraubt werden können. An der anderen Seite befindet sich ein Adapter, welcher aber nur feste unflexible Schläuche aufnehmen kann. Um eine Befestigung zu ermöglichen wurden an das Ende des Schlauches Schlauchtüllen eingebracht. Diese werden an einem Ende weit in den Schlauch hineingesteckt, die andere Seite wird von dem Adapter aufgenommen. Der Adapter folgt einem firmeneigenen Prinzip der Serto GmbH. Der Schlauch wird durch Schrauben an die dafür vorgesehenen Stellen im Adapter gepresst, wodurch die Verbindung wieder lösbar ist. Ein Abrutschen des Schlauches wird durch die Form der Schlauchtülle verhindert und zusätzlich wird dieser Übergang mit einer Schelle versehen. Da vermutet wird, dass sich Plastik besser als Metall dem Plastikschauch anpasst und damit das Austreten von Flüssigkeit erschwert wird, wurden diese Übergänge aus PVDF bestellt.

Die Leitungen für den Konzentratkreislauf bestehen aus einem weitaus weniger flexiblen Plastik mit einem Innendurchmesser von 6 mm. Für diese wurden ebenfalls in den Kugelhahn einschraubbare Übergänge von Serto GmbH bestellt. Die Befestigung des Schlauches erfolgt hier aber über ein firmeneigenes Prinzip. Auch hier wird ein Dorn in den Schlauch geschoben und darüber eine Art Schelle geschraubt. Dadurch, dass höhere Kräfte wirken, wird der Schlauch direkt an den Übergang gepresst, wodurch dieser dicht wird. Durch die Möglichkeit, den Klemmring zu schrauben, ist diese Verbindung wieder lösbar.

Die genaue Bezeichnung für die Übergänge ist aus der Stückliste im Anhang zu entnehmen. In die Verschraubung zwischen Kugelhahn und Übergang wurde Loctite, ein lösbarer Klebstoff speziell für Gewinde, und zusätzlich Dichtfaden eingebracht. Der Versuch, normales Dichtband zu verwenden schlug fehl. Es ist sehr schwer, einen dichten Übergang zwischen Metall und Plastik herzustellen, gerade, weil das Konzentrat derart aggressiv ist.

Ein Faktor, der Undichtheiten im Laufe der Zeit verursachen kann, ist eine unzureichende Befestigung des Kugelhahns an der Wand. Da der Hersteller über die Befestigung keine Auskunft geben konnte, wurden gummierte Winkel zum Aufhängen von Werkzeug verwendet, welche kostengünstig im Baumarkt erworben werden konnten.

Ob diese Konstruktion dicht ist, stellt sich innerhalb der ersten Monate im Betrieb heraus und konnte aus zeitlichen Gründen im Rahmen dieser Arbeit nicht ausreichend untersucht werden.

4.2.2 Anschluss der Pumpe an die Schläuche

Auch beim Übergang zwischen der Pumpe und den zu- und abführenden Schläuchen kam es zur Kristallbildung. Leider war hier eine optimale Lösung nicht möglich, da kein passender Übergang gefunden wurde. Deshalb wurde über den standardmäßigen Zufluss der Pumpe ein Gummischlauch gelegt, der sich gut dem Zulauf anpasst. Es handelt sich dabei um einen dehnbaren Gummischlauch mit einem Innendurchmesser von 8 mm.

Für den Übergang zwischen diesem Schlauch und dem Schlauch der Konzentratversorgung wurde wieder ein Übergang von Serto GmbH bestellt. Der dehnbare Gummischlauch wird über einen Zapfen geschoben und mit Kabelbinder fixiert. Beim Übergang des Adapters auf den Schlauch der Konzentratversorgung wurde die firmeneigene Serto-Verbindung gewählt.

Ein Tausch der Leitungen in der Dialysepraxis gegen flexible Gummischläuche war aufgrund des hohen Arbeitsaufwandes nicht möglich. Der Nachteil dieser Kombination besteht darin, dass mehr Übergänge zwischen verschiedenen Komponenten verwendet werden, als theoretisch nötig. Somit steigt auch die Wahrscheinlichkeit für undichte Stellen.

Der Wechsel der Pumpe ist mit dieser Anbindung ohne Probleme machbar. Die einfachste Möglichkeit besteht darin, direkt am Anschluss der Pumpe den Kabelbinder zu durchtrennen und den Schlauch abzuziehen.

4.2.3 Einbindung des Rücklaufs

Für den Rücklauf wurde in den Deckel der Tanks ein Loch gebohrt und der Schlauch durch diesen gesteckt. Es stellte sich heraus, dass der Schlauch auf dem Konzentrat schwimmt. Da durch den hydrostatischen Druck bei gefüllten Tanks der Kreislauf auch ohne Pumpen betrieben werden kann, müssen die Rückläufe bis zum Boden des Tanks reichen. So wurde der Schlauch durch starre Rohre an den Boden des Tanks geführt.

4.3 Elektrische Verknüpfung

Nachdem abgewogen wurde, welche Art von Bauteilen verwendet wird, wird die Verknüpfung zwischen der SPS Steuerung mit den Sensoren und den Kugelhähnen, sowie die Stromversorgung dieser Bauteile im folgenden Kapitel erklärt. Auch auf die Stromversorgung der Ampel, was unter anderem die Dimensionierung der Vorwiderstände beinhaltet, wird eingegangen.

4.3.1 Bauart

Es wurde abgewogen, ob alle Bauteile auf einer Leiterplatte platziert werden sollen, oder ob es ratsamer wäre, diese auf einer Hutschiene zu platzieren.

Für die Leiterplatte spricht, dass die Bauteile kostengünstiger sind. Allerdings wird die Leiterplatte aufgrund der großen Anzahl an Anschlüssen, schnell unübersichtlich. Jeder Sensor hat allein schon drei Anschlüsse, womit schon allein alle Sensoren zusammen 12 Anschlüsse benötigen. Fällt ein Relais aus ist es beinahe unmöglich, dieses auszuwechseln. Ein genereller Überblick über die Schaltung kann nur mit großem Zeitaufwand für andere Techniker geschehen.

So wurde sich dafür entschieden, die Bauteile, also Spannungsversorgung, SPS-Steuerung und die Relais auf einer Hutschiene anzuordnen. Fällt ein Relais aus, kann dieses einfach aus der Halterung genommen und gegen ein neues ersetzt werden. Ein Verständnis der gesamten Schaltung ist somit nur für die Fehlersuche nötig und meist reicht ein Ausprobieren.

Für die Zusammenschaltung muss nicht gelötet werden. Damit besteht das Problem von kalten Lötstellen sowohl in der Produktion als auch in der Reparatur nicht.

Da insgesamt 16 Relais nötig waren, reichte eine Hutschiene nicht aus. Somit wurden auf eine obere alle Relais platziert und auf eine untere SPS-Steuerung und Spannungsversorgung.

Da sich die empfindliche Elektronik in einem Raum befindet, in dem die Luftfeuchtigkeit durch die Konzentrate sehr hoch ist, wurde diese in einem luftdicht verschließbaren Hutschienengehäuse platziert. Das Sichtfenster ermöglicht jederzeit eine Kontrolle von außen. In die Löcher, wo die Leitungen austreten, wurde eine spezielle Paste geschmiert, welche gegebenenfalls wieder entfernt werden kann.

Abbildung 23 zeigt den Steuerungskasten, wie er am Ende mit Hutschienen gestaltet wurde.

4.3.2 Spannungsversorgung

Die SPS-Steuerung wird mit 230 V, der im deutschen Stromnetz üblichen Spannung versorgt, der Kugelhahn mit 12- 48 V und die Sensoren mit einer Spannung von 10- 36 V. Bei Sensoren und Kugelhahn ist es sinnvoll, eine für die Versorgung übliche Spannung zu erzeugen und diese für beide Bauteile zu verwenden. Im Intervall von 12 - 36 V/DC ist 24 V eine sehr gebräuchliche Spannung. Diese liegt in beiden Intervallen im mittleren Feld, sodass ein Grenzbetrieb nicht notwendig ist und die Bauteile auch bei Spannungsschwankungen gut funktionieren. Die Spannung von 24 V hat den Vorteil, dass das Schaltnetzteil für die Erzeugung der Spannung, wie auch elektrische Bauteile, beispielsweise Relais, kostengünstig im freien Handel verfügbar ist.

Die Eingangsspannung der gesamten Konstruktion beträgt damit 230 V und kann bequem an eine übliche Steckdose angeschlossen werden. Mit dieser Spannung wird nicht nur die SPS-Steuerung, sondern auch ein Schaltnetzteil versorgt, welches elektrischen Strom mit einer Spannung von 24 V bereitstellt.

Die Stromstärke oder die Leistung des Schaltnetzteils musste dazu dimensioniert werden. Der Kugelhahn vom alten Fabrikat hat eine höhere Stromaufnahme als die neuen Kugelhähne. Dies ist aus Tabelle 3 ersichtlich, wie auch die Stromaufnahme und Leistung aller anderen Bauteile.

Tabelle 3: maximaler Stromverbrauch und Leistungsaufnahme der einzelnen Bauteile

Anzahl	Bauteil	maximale Stromaufnahme in mA	Maximale Leistung in W
4	Sensor	17 (Datenblatt)	0,408
3, davon maximal 2 aktiv	Steuerung des neuen Kugelhahns	680 (Datenblatt)	16,32
1, mit maximal einem neuen Kugelhahn aktiv	Steuerung des alten Kugelhahns	1000	24
6	LED (5 V-Betrieb)	2x20, 2x50, 2x60 (gemessen)	2x0,1; 2x0,25, 2x0,3
gesamt maximal		2008	41,728

Zu den in Tabelle 3 aufgeführten Bauteilen kommen noch 16 Relais und die Endlagenschalter, die aber nicht mehr als einen Widerstand darstellen.

Außerdem sollte ein Schaltnetzteil nicht die ganze Zeit an der oberen Abgabeleistung betrieben werden. Weiterhin ist eine höhere Anlaufspannung, gerade bei den Kugelhähnen zu erwarten, sodass eine gewisse Sicherheit eingerechnet werden muss. Damit das Schaltnetzteil nicht noch höher dimensioniert werden muss, wurde die SPS-Steuerung so programmiert, dass immer nur zwei, aber niemals vier Kugelhähne in Betrieb sind.

Eine hohe Sicherheit ist auch deshalb erforderlich, weil kein Techniker vor Ort ist, wenn dialysiert wird. Ein Ausfall der Konzentratversorgung würde deshalb mit enormem Stress für das medizinische Personal und letztendlich auch für die Patienten verbunden sein.

Deshalb wurde ein 75 W Netzteil gewählt, welches demzufolge eine maximale Stromstärke von 3,2 A ausgibt. Bei einem Probelauf stellte sich das Schaltnetzteil als geeignet heraus.

4.3.3 Signalleitung der Sensoren

Die Sensoren besitzen drei Anschlüsse. Zwei davon sind für die Stromversorgung vorgesehen. Fällt zwischen dem dritten Anschluss und der negativen Spannungsversorgung eine Spannung ab, welche knapp unterhalb der Betriebsspannung liegt, gibt der Sensor ein Signal.

Die Signalleitung wurde auf den Steuerkreislauf eines Relais geschaltet und dieser mit der negativen Komponente der Spannungsversorgung verbunden. Wird ein Signal abgegeben, schließt das Relais, wenn es sich dabei um einen Schließer handelt.

Für die Relais wurden Finder-Koppelrelais (FIN 49.31.24V) gewählt, welche für den Steuerkreislauf eine Spannung von 24 V benötigen, wie dies auch gefordert ist. Mit einer maximalen Stromstärke von 10 A sind diese mehr als ausreichend. Eine eingebaute LED zeigt den Schaltzustand des Relais an.

Die SPS-Steuerung wird mit einer Spannung von 230 V versorgt. Die Eingänge werden parallel zur Spannungsversorgung geschaltet und das Relais vor den Eingang gesetzt. Ist dieses geschlossen, ist der Eingang bei einem Schließer geschaltet und ein Signal liegt an.

Ein Ersatzrelais wurde bereits mitbestellt um bei einem Ausfall Wartezeiten zu vermeiden.

4.3.4 Steuerung der Kugelhähne

Die Kugelhähne werden mit Spannung versorgt und fahren damit in eine Richtung. Für einen Richtungswechsel ist eine Umpolung der Spannung erforderlich. Nach dem vom Hersteller empfohlenen Schaltbild, welches in Abbildung 19 zu sehen ist, wurde der Kugelhahn beschaltet. Ein Zweifach-Wechsler-Relais vom Typ FIN 49.52.9 24 V, welches bis auf die Tatsache, dass es sich um ein Zweifachrelais handelt fast baugleich zu den in Kapitel 4.3.3 vorgestellten Relais ist, wird vom Ausgang O1 angesteuert. Auf die gesteuerten Eingänge des Relais wird eine Spannung von 24 V gegeben und die Ausgänge, welche geschaltet sind, wenn das Relais geschlossen ist, mit den Anschlüssen am Kugelhahn verbunden. Bei den Zweifach-Relais handelt es sich um Wechsler. Um die Stromrichtung umzupolen wurden Leiter zwischen dem Ausgang, wo das Relais geschlossen ist, des einen Teil-Relais und dem Ausgang, wo das Relais offen ist des anderen Teil-Relais gespannt. Dies wurde doppelt getan und so entstand die Umpolung der Spannung. An die Anschlüsse, wo das Relais geschlossen ist, wurde zusätzlich die Spannungsversorgung für die Kugelhähne geschlossen.

Von den Anschlüssen für den Kugelhahn am Relais wird über Kreuz eine Leitung gelegt zu den Anschlüssen, wenn das Relais offen ist. Damit wird eine Umpolung ermöglicht.

Auch hier wurde ein Ersatz-Relais mitbestellt.

Um den Kugelhahn zu schonen wird vor die Spannungszufuhr noch ein Einfach-Relais wie in Kapitel 4.3.3 eingebaut, welches nur dann geschlossen ist, wenn der Kugelhahn Strom benötigt. Dies wird mit dem SPS-Ausgang O2 angesteuert.

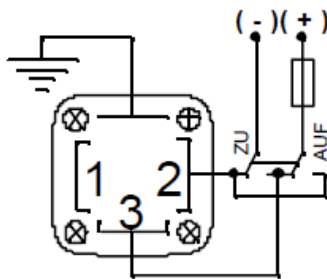


Abbildung 19: Beschaltung des Kugelhahns

4.3.5 Endlagenschalter des Kugelhahns

Erreicht der Kugelhahn seine Endlage, wird dies durch eine von der Spannungsversorgung getrennte Signalgebung gemeldet. Dazu sind drei Anschlüsse für Leitungen am Kugelhahn angebracht. Dabei dient ein Anschluss zur Spannungsversorgung. Zwischen diesem und einem anderen Anschluss besteht ein Widerstand von einigen Ohm. Erreicht der Kugelhahn die Endlage, baut sich der Widerstand automatisch ab. Der zweite Anschluss funktioniert analog für die zweite Endlage.

Welche Spannung an die Spannungsversorgung angelegt wird, spielt keine Rolle. Es wurde sich in diesem Fall für eine Spannung von 24 V entschieden, da diese bereits beispielsweise für die Versorgung des Kugelhahns erzeugt wird. Die beiden Anschlüsse für die Steuerung werden jeweils mit Finder-Einfach-Relais verbunden, wie sie schon an anderer Stelle verwendet wurden, und dann zurück auf die Spannungsversorgung geführt, damit der Stromkreis geschlossen wird. Ist der Widerstand vorhanden, fällt die Spannung über diesem ab und das Relais bleibt unverändert. Verschwindet dieser Widerstand, fällt die Spannung von 24 V auf das Relais, was auf diese Spannung ausgerichtet ist. Das Relais schließt und es kommt zu einem Eingangssignal bei der SPS-Steuerung. Der gesteuerte Stromkreis ist analog zu dem der Sensoren aufgebaut. 230 V von der Spannungsversorgung für die SPS-Steuerung werden parallel geschaltet und ein Relais dazwischen geschaltet, was bestimmt, wann die Parallelschaltung aktiv ist.

Da in jedem Kreislauf zwei Kugelhähne gesteuert werden, sind pro Kreislauf vier Eingänge für die Endlagen erforderlich. Welche dies betrifft, ist in Tabelle 1 ersichtlich.

4.3.6 Einbindung der Ampel

Die beiden Ampeln, für jeden Kreislauf eine, waren bereits vor der Optimierung vorhanden. Da diese über eine TTL-Logik mit 5 V angesteuert werden konnten, wurden damals LEDs gewählt, die ohne Vorwiderstand auf Betriebsspannung betrieben werden konnten. Da eine Ansteuerung mit 24 V im vorliegenden Fall als sinnvoll erachtet wird, mussten Vorwiderstände eingebracht werden. Dabei gab es die Option, wie es eigentlich üblich ist, den Vorwiderstand direkt am Fuß der LED zu befestigen. Da sich aber die Ampel zum Zeitpunkt der Entwicklung in der Dialysepraxis befand, während in der medizintechnischen Firma entwickelt wurde, war ein schneller Einbau in die Praxis von Bedeutung. Durch zusätzlichen Aufwand beim Anschließen in der Dialysepraxis durch Löten und verändern der Ampel, wurden die Vorwiderstände noch vor der Spannungszuführung zur LED an den Lüsterklemmen eingebaut. Diese Variante ist zwar wie bereits erwähnt nicht die übliche Vorgehensweise, wurde aber aufgrund der schon genannten Gründe bevorzugt. Auch über ein Einbringen neuer LEDs, die eine Betriebsspannung von 24 V haben, wurde nachgedacht. Da auch hier eine Veränderung der Ampel nötig geworden wäre, wurde diese Idee nicht umgesetzt.

4.3.6.1 Dimensionierung der Vorwiderstände der LEDs

Abbildung 20 zeigt, dass sowohl über dem Vorwiderstand als auch über der LED eine Spannung abfällt. Es gilt zu berechnen, wie viel Spannung über dem Vorwiderstand abfallen muss um ihn dimensionieren zu können.

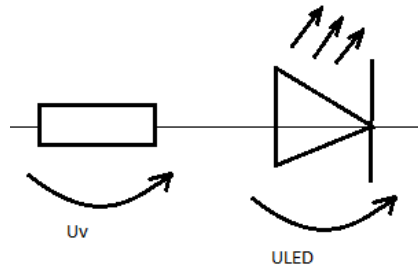


Abbildung 20: Vorwiderstand der LED

Allgemein gilt für den in Abbildung 20 gezeigten Fall folgende Formel

$$U_{Ges} = U_V + U_{LED}$$

Die LED wird an die normale Spannungsversorgung angeschlossen, sodass $U_{Ges} = 24 V$ gegeben ist. Da die LED mit 5 V Spannung betrieben wird, wie dies in der TTL-Logik üblich ist, und diese Spannung beibehalten werden soll, gilt $U_{LED} = 5 V$. Die Spannung, die über einen eingebauten Vorwiderstand abfallen muss, kann damit berechnet werden, wie dies in den folgenden Formeln gezeigt wird.

$$U_V = U_{Ges} - U_{LED} = 19 V$$

Da kein Datenblatt für die LEDs vorhanden war, wurde die Stromstärke im Stromkreis, der nur aus der betreffenden LED und einer 5-V- Spannungsquelle bestand, gemessen. Die folgenden Werte wurden ermittelt:

$$I_{grün} = 25 mA$$

$$I_{gelb} = 60 mA$$

$$I_{rot} = 50 mA$$

Für den Vorwiderstand gilt das Ohmsche Gesetz. Bezieht man dies auf den vorliegenden Fall gilt für den Vorwiderstand

$$R_V = \frac{U_V}{I_{Farbe}}$$

Setzt man $U_V = 19\text{ V}$, wie oben berechnet, und nimmt man für den Strom die gemessenen Werte an, ist die Größe der Vorwiderstände folgende:

$$R_{V\text{ grün}} = 760\ \Omega$$

$$R_{V\text{ gelb}} = 317\ \Omega$$

$$R_{V\text{ rot}} = 380\ \Omega$$

Da nur bestimmte Widerstandswerte kostengünstig am Markt zu erhalten sind und ein etwas größerer Widerstand keinen Einfluss auf die Funktion der LED hat, wird immer der nächstgrößere Widerstand, der in der Normreihe auftaucht, eingebaut.

Im vorliegenden Fall wurden damit folgende Widerstände eingebaut:

$$R_{dim\text{ grün}} = 820\ \Omega$$

$$R_{dim\text{ gelb}} = 330\ \Omega$$

$$R_{dim\text{ rot}} = 180\ \Omega + 220\ \Omega$$

Im Fall der roten LED hätte ein Widerstand mit $390\ \Omega$ eingebaut werden müssen. Da dieser aber in der Praxis nicht vorhanden war und eine Erhöhung um $10\ \Omega$ keine Rolle spielt, weil die anderen Werte ebenso nur Rundungswerte sind, wurden zwei Widerstände mit $180\ \Omega$ und $220\ \Omega$ in Reihe geschaltet.

4.3.7 Anschluss der Pumpe

Die Pumpe wird völlig unabhängig von den anderen Komponenten betrieben. Dies hat zum einen den Vorteil, dass wegen der Unabhängigkeit der Pumpen weiter dialysiert werden kann, falls der Umschaltvorgang nicht funktioniert und mit Handnotbetätigung gearbeitet werden muss. Zum anderen ist es so unmöglich, dass die Pumpen den Umschalter elektrisch beeinflussen oder sogar, gerade wenn sie anlaufen, so viel Strom benötigen, dass der Umschalter nicht mehr funktioniert

Die Pumpen benötigen laut Datenblatt einen maximalen Anlaufstrom von 6,4 A und einen Dauerstrom von 1,33 A. Diese Werte werden zwar in der Praxis nicht erreicht, aber trotzdem kann es vorkommen, dass die Stromversorgung, welche in Kapitel 4.3.2 im Rahmen der Spannungsversorgung mit diskutiert wurde, nicht ausreicht und so sowohl Kugelhahn als auch Pumpe sich in einem Schwebezustand befinden, in dem keine der beiden Komponenten ausschaltet, aber weder die Pumpe die erwünschte Leistung erbringt, noch der Kugelhahn sich zur Endlage bewegt. Da die Komponenten altern und damit die Stromzufuhr tendenziell eher zunimmt und ein Betrieb der Spannungsquelle am oberen Ende nicht wünschenswert ist, wurde auf eine Stromversorgung außerhalb der Steuerung zurückgegriffen. Jede Pumpe wird extern über einen Netzstecker versorgt. Diese befinden sich auf einer schaltbaren Steckerleiste, welche am Ende des Dialysetages ausgeschaltet werden kann.

Alle anderen Komponenten werden permanent betrieben.

4.3.8 Elektrische Sicherung

Die gesamte Apparatur wurde mit einer 6 A Sicherung am Stromeingang, wo 230 V für das Schaltnetzteil und die SPS-Steuerung anliegen, geschützt. Das Schaltnetzteil benötigt eine Stromstärke von 2 A am Eingang und die SPS-Steuerung 12 W und damit bei 230 V eine Stromstärke von 55 mA. Die Sicherung wurde bewusst größer gewählt als benötigt wegen des hohen Anschaltstroms. Sicherungsautomaten sind zudem bequemer zu handhaben als einfache Sicherungen, da sie nach jedem Ausfall wieder verwendet werden können. Diese sind aber erst ab 6 A serienmäßig erwerbbar. Es wurde der Sicherungsautomat ELLSCO B 6 A gewählt, welcher auch auf der Hutschiene Platz findet.

Eine 2 A Sicherung wurde jeweils für die zwei Kugelhähne eines Kreislafs gewählt. Diese konnte nicht auf der Hutschiene befestigt werden und wird so nur von den elektrischen Leitungen gehalten, was bei einem Gewicht von wenigen Gramm und einer Größe von etwa 1 cm auch ausreicht. Diese Sicherung ist ausreichend, um den Kreislauf mit den beiden neuen Kugelhähnen zu sichern, ebenso, wie den Kreislauf mit dem neuen und den alten Kugelhahn.

4.4 Benennung der Komponenten

Da es für den Techniker, der nicht im Stoff steht, mit einem überschaubaren Zeitaufwand kaum möglich ist, 16 Relais und deren Funktion im Gehäuse zu überblicken und zu erfassen, an welche Lüsterklemme was angeschlossen werden muss, wurden Beschriftungen eingeführt, die dies stark vereinfachen.

Schon beim Einbau stellte sich eine gute Beschriftung als unverzichtbar heraus, da gerade die vier Sensoren mit je drei Anschlüssen nicht vertauscht werden dürfen. Im schlimmsten Fall wird der Fehler erst im laufenden Betrieb gemerkt, wenn bereits alle Dialysemaschinen auf Alarm geschaltet haben, weil keine Konzentratversorgung mehr vorhanden ist.

4.4.1 Benennung der äußeren Komponenten

Da die Tanks seit Jahren eine Bezeichnung besitzen, die für das gesamte Personal der zu betreuenden Dialysepraxis geläufig ist, war es sinnvoll, diese weiter zu verwenden. Ein Schaubild, in dem sich ein Überblick über alle Tanks zu finden ist, ist in Abbildung 21 zu sehen.

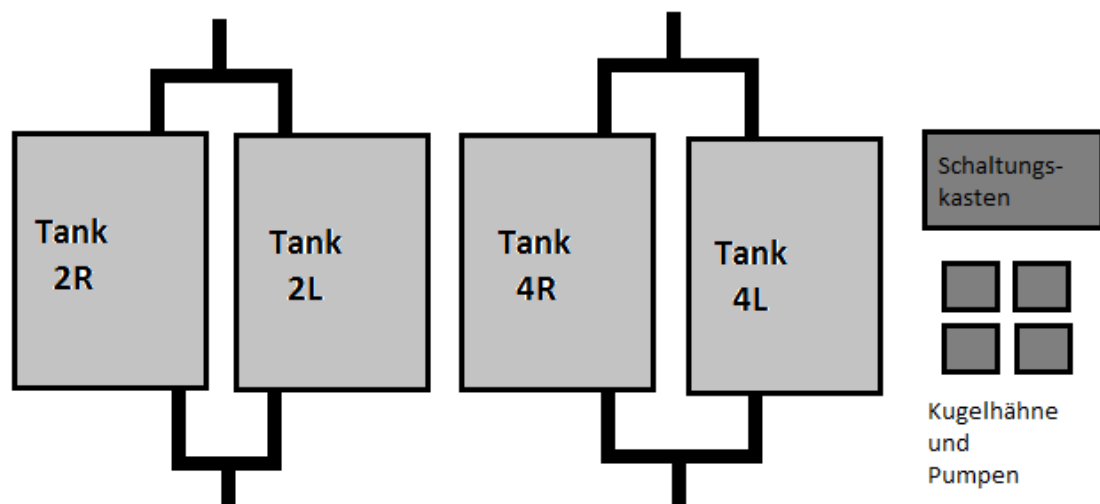


Abbildung 21: Benennung der Tanks

Die Sensoren sind mit einem S und dem Namen des zugehörigen Tanks benannt, also S2R, S2L, S4R und S4L. Bei den Kugelhähnen war wegen des Zu- und Rückflusses solch eine einfache Kennzeichnung nicht möglich. Die Kugelhähne für das 2er Konzentrat wurden mit KH1 für den Kugelhahn, der den Zufluss und KH2 für den Kugelhahn, der den Rückfluss steuert, benannt. Beim 4er Konzentrat handelt es sich um KH A beim Zu- und um KH B Rückfluss.

Die Lage der Kugelhähne nach dem Einbau ist in Abbildung 22 zu sehen. Die Bezeichnung, welche neben dem Foto steht, ist ebenfalls auf ihnen angebracht. Eine Beschriftung regelt zudem, bei welcher Schalterstellung welcher Tank bedient wird. Auf der Abbildung ist ebenfalls die Lage aller anderen wichtigen Komponenten zu erkennen.

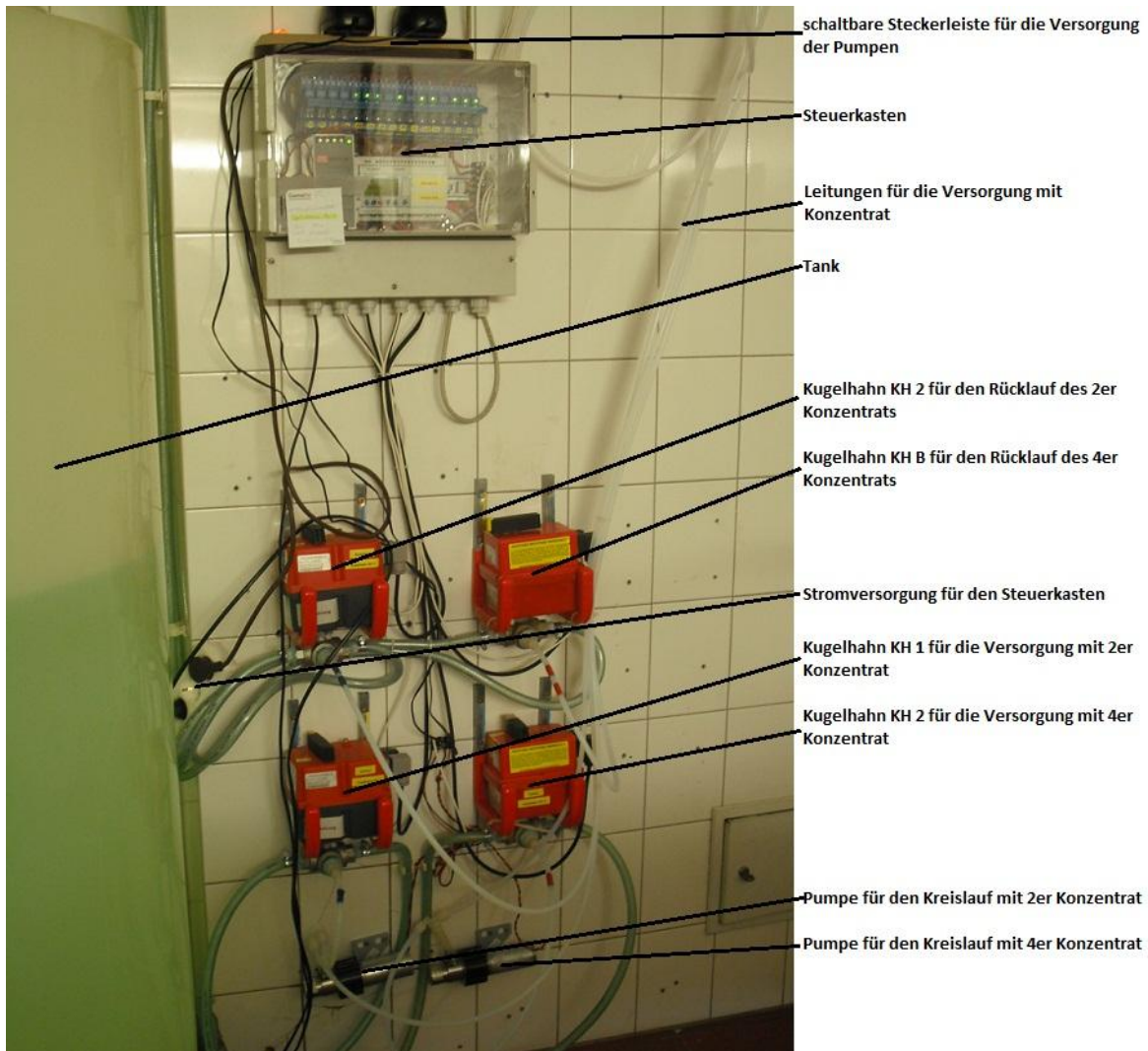


Abbildung 22: Gesamte Konstruktion in der Praxis

4.4.2 Schaltungskasten

Für eine Orientierung im Schaltungskasten sorgt Abbildung 23. Alle relevanten Kennzeichnungen sind nochmals auf oder an den Bauteilen zu finden.

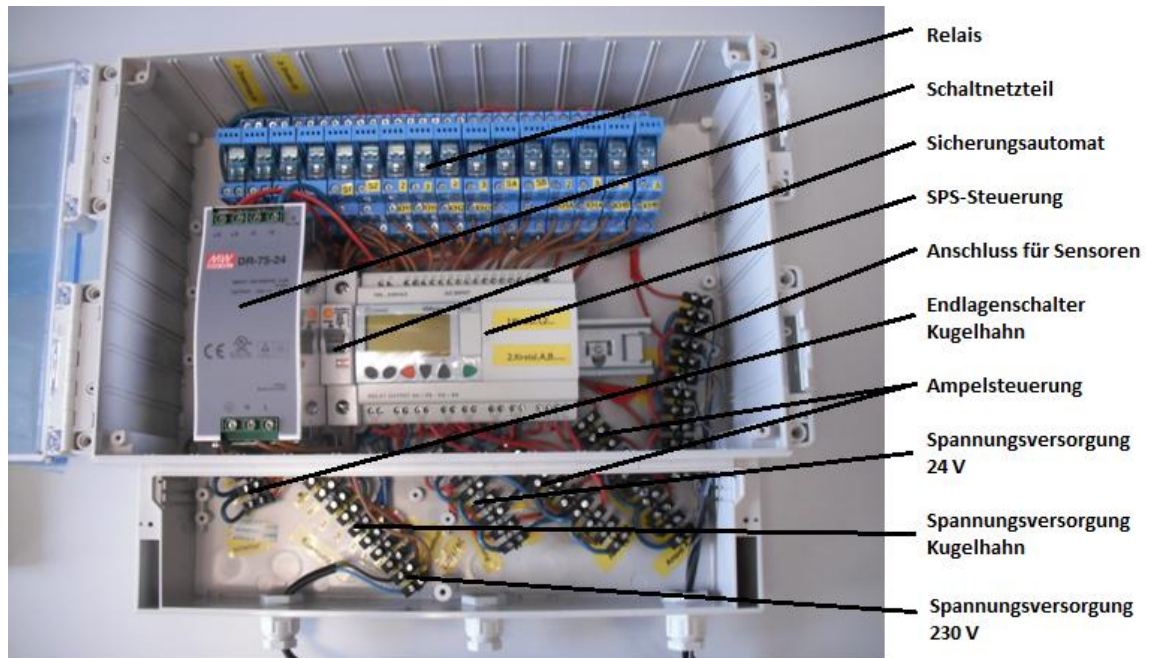


Abbildung 23: Schaltungskasten

4.4.3 Lage der Relais

Um lange Kabel zwischen Relais und den Eingängen der SPS-Steuerung zu vermeiden, wurden die Relais auf den Kopf gestellt. So befinden sich die Eingänge für den Steuerstromkreis entgegen der üblichen Einbauweise oben. Durch die Drehung ist es leichter möglich, einzelne Kabel auszutauschen und für den Techniker ist es schneller möglich einen Überblick zu bekommen, da er den Verlauf der Kabel vom Anfang bis zum Ende verfolgen kann.

In Abbildung 24 wird zusammenfassend aufgezeigt, wozu die Relais dienen.

Zu beachten ist dabei, dass die ersten vier Relais von links auf der oberen Hutschiene von der SPS-Steuerung gesteuert werden und damit die Kugelhähne steuern, während die anderen Relais von den Sensoren oder den Endlagenschaltern gesteuert werden und damit die Eingänge der SPS-Steuerung schalten.

Die Relais für die Sensoren sind genauso gekennzeichnet wie diese, also mit S2R, S2L, S4R und S4L. Die Relais für die Endlagen wurden mit dem Tank gekennzeichnet, auf den der Kugelhahn geschaltet ist, wenn diese Endlage aktiv ist, sowie mit dem Kugelhahn, zu dem diese gehören. Somit gibt es für jeden Tank zwei Relais für die Endlagenschalter, einen für den Kugelhahn für den Zulauf und einen für den Rücklauf.

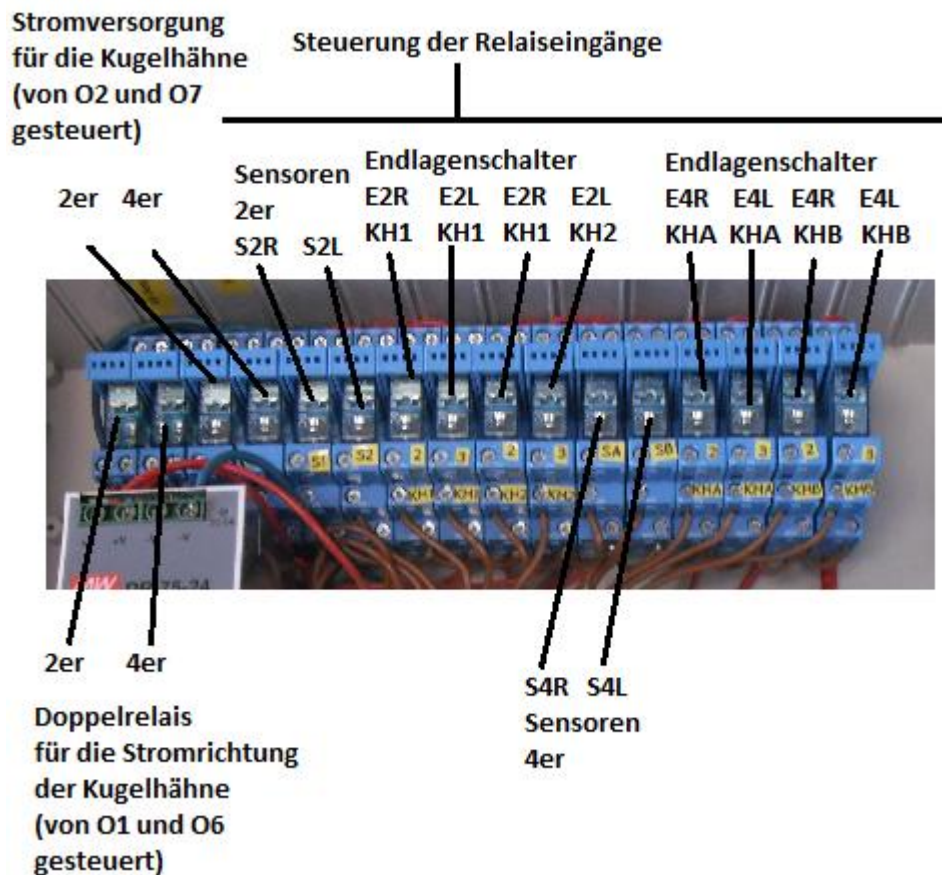


Abbildung 24: Beschaltung der Relais

4.4.4 Lüsterklemmen

An den Lüsterklemmen werden die Anschlüsse für die Ansteuerung externer Komponenten angebracht. Um auch nach Jahren Anschlüsse wieder zu finden oder bei der Fehlersuche zu wissen, wo welcher Anschluss liegt, wurde dies hier dokumentiert. Eine verkürzte Version davon ist in einem Servicebericht zu finden, der für eine schnelle Fehlersuche erstellt wurde. Die Beschriftung wurde zwar auch im Schaltungskasten angebracht, aber es ist nicht davon auszugehen, dass man diese nach Jahren noch lesen kann.

4.4.4.1 Spannungsversorgung

Der untere Anschluss führt den Strom aus der äußeren Spannungsversorgung mit 230 V in den Steuerkasten, also durch das Schaltnetzteil zum Netzteil und zur SPS-Steuerung. Alle weiteren Klemmen sind lediglich gebrückte Spannungsversorgungen für 24 V. Von diesen wird der Strom für alle Komponenten (Sensoren, Endlagen) geführt. Es wurden für die Leitungen wie üblich die Farben rot und blau verwendet. Ein Vertauschen der Anschlüsse führt zu keinerlei Problemen, wenn die Polung beachtet wird. Wird ein rotes

Kabel dahin gelegt, wo sich auf der gegenüberliegenden Seite ein rotes Kabel befindet oder ein blaues, wo sich ein blaues befindet, stellt dies kein Problem dar.

Die Spannungsversorgung der Kugelhähne läuft nicht über diese Lüsterklemme. Sie wird direkt am Schaltnetzteil abgegriffen und auf die Relais geschaltet, welche die Spannung weiter auf den Kugelhahn bei entsprechender Steuerung geben.

4.4.4.2 Sensoren

Die Sensoren besitzen je drei Anschlüsse, wobei einer die Signalleitung und die beiden anderen die Stromversorgung darstellen. Alle drei Adern werden nacheinander auf eine Lüsterklemme geschraubt. Es beginnt **von oben Sensor S2R** mit der Signalleitung. Diese ist bei den Sensoren schwarz und wird durch die Verlängerung **gelb**. Es folgt die negative Komponente der Spannungsführung, welche am Sensor blau ist, aber durch die Verlängerung des Kabels am Steuerungskasten als **grün** ankommt. Unten wird die positive Spannungsführung angebracht. Sie behält auch durch die Verlängerung ihre Farbe **braun**. Die **weiße** Ader wurde nicht genutzt. Es folgen in **gleicher Reihenfolge die Anschlüsse für S2L, S4R und S4L**.

Der Anschluss für die Signalleitung ist daran zu erkennen, dass dieser nicht gebrückt ist, während die Spannungsleitungen in der jeweils üblichen Farbe gebrückt sind. Eine Beschriftung im Steuerungskasten ist auch hier vorhanden.

4.4.4.3 Stromversorgung Kugelhahn

Diese Lüsterklemme ist für die Versorgung des Relais mit Strom verantwortlich. Da eine Umpolung am Relais erfolgt, ist die Stromrichtung nicht wie bei den Sensoren oder Endlagenschalter statisch, sondern dynamisch, wenn auch die Umpolung in großen Zeitabständen erfolgt.

An den beiden Anschlüssen **ganz links außen** wird der Kugelhahn **KH1** mit Strom versorgt. Der **erste** Anschluss führt zum Anschluss 2 im inneren des Kugelhahns. Dies ist ohne die Spannungszuleitung des Kugelhahns zu öffnen nicht mehr ersichtlich. Aus dem **dicken schwarzen zweiadrigen Kabel** ist die **braune** Ader die, welche an erster Stelle in der Lüsterklemme gehört. Es folgt die **blaue** Klemme. Äquivalent folgt dies für den Kugelhahn **KH2**. Bei **KH A** handelt es sich um den alten Kugelhahn. Während bei allen anderen Kugelhähnen ein Öffnen der Spannungszufuhr direkt am Kugelhahn erlaubt ist, wird hier dringend davon abgeraten, da diese bereits geklebt und gelötet werden musste. Wird sie doch geöffnet, ist zu beachten, dass keine Belegung mit Zahlen mehr vorhanden ist. Die Adern im Kugelhahn sind rot (entspricht der Belegung 1 auf dem Schaltplan am Kugelhahn), schwarz (2) und grau (3). Im Vergleich zu den neuen Kugelhähnen war hier die Belegung so, dass zwischen 1 und 2 die Steuerung erfolgte. Auf 1 liegt jetzt das **blaue**

Kabel, auf 2 das **braune**. Sie müssen in der **umgekehrten Reihenfolge** wie üblich in die Lüsterklemme gesteckt werden, also **erst die blaue, dann die braune Ader**.

Bei **KH B** handelt es sich wieder um einen neuen Kugelhahn, wo erst das **braune**, dann das **blaue** Kabel angeschlossen werden.

Tabelle 4 zeigt nochmals, wo welche Ader angeschlossen werden muss. Die Reihenfolge ist die gleiche wie an der Lüsterklemme von links nach rechts.

Tabelle 4: Anschluss der Kugelhähne

Nummer	Kugelhahn	Farbe
2	KH 1	braun
3	KH 1	blau
2	KH 2	braun
3	KH 2	blau
1!	KH A	<u>blau</u>
2!	KH A	<u>braun</u>
2	KH B	braun
3	KH B	blau

4.4.4.4 Endlagenschalter

Die Endlage stellt einen Widerstand dar, der vorhanden ist, wenn die Endlage nicht erreicht ist und sich abbaut sobald sie erreicht wird. Auf die Spannungszufuhr wird eine positive Spannung von 24 V gegeben. Je nachdem, ob auf einer Endlage ein Strom zu verzeichnen ist, wird ein Strom verzeichnet und so das Relais geschlossen oder nicht. Für die Stromführung wurde wie bei den Sensoren **ein weißes vieradriges Kabel** verwendet.

Die Bezeichnung für die Endlagen bezieht sich wie bei den Sensoren auf den Tank, aber diesmal steht zur Unterscheidung ein E davor. Für jeden Tank gibt es für Zu- und Rückfluss je eine Endlage, also insgesamt acht. Die Spannungsversorgung wird mit V und dem Konzentrat, also 2 oder 4 abgekürzt, anschließend steht noch der betreffende Kugelhahn. Für die Beschriftung wurden aus Platzgründen die Nummern der Anschlüsse am Kugelhahn beibehalten. Die **weiße** Ader wird nicht verwendet.

So folgen von oben nach unten, was in Tabelle 5 aufgelistet ist.

Tabelle 5: Anbindung der Endlagenschalter

Nummer (Beschaltung Kugelhahn)	Endlage	Kugelhahn	Farbe der Ader
1	Stromversorgung (SV)	KH 1	grün
2	E2R	KH 1	gelb
3	E2L	KH 1	rot
1	Stromversorgung (SV)	KH 2	grün
2	E2R	KH 2	gelb
3	E2L	KH 2	rot
1	Stromversorgung (SV)	KH A	grün
2	E4R	KH A	gelb
3	E4L	KH A	rot
1	Stromversorgung (SV)	KH B	grün
2	E4R	KH B	gelb
3	E4L	KH B	rot

4.4.4.5 Ampelsteuerung

Jede Ampel verfügt über einen Leiter für die negative Spannungsversorgung, welcher direkt in der Ampel für alle LEDs gebrückt wurde und weiterhin für jede LED eine Signalleitung. Diese führen in einem zehnrändigen Kabel zu den beiden Ampeln mit insgesamt sechs LEDs. In Tabelle 6 ist aufgelistet, welche Farbe welcher Ansteuerung dient. Die Lüsterklemme wurde so gebaut, dass jede LED zwei Leitungen hat. Dies ist, wie schon erwähnt, nicht notwendig, ermöglicht aber leichter einen Umbau auf eine andere Ampel.

Tabelle 6: Ampelbelegung. Hier ist aufgelistet, welche Ader mit welcher LED verbunden ist.

Farbe der Ader	Funktion
lila	negative Spannung für die Ampel mit dem 2er Konzentrat
lila	rot (2er Konzentrat)
gelb	gelb (2er Konzentrat)
rosa	grün (2er Konzentrat)
blau	negative Spannung für die Ampel mit dem 4er Konzentrat
weiß	rot (4er Konzentrat)
schwarz	gelb (4er Konzentrat)
rot	grün (4er Konzentrat)
braun	ohne Funktion
grau	ohne Funktion

5 Einbau

Das letzte Kapitel beschäftigt sich mit dem Einbau in die Praxis. Da ein reales Problem behandelt wurde und diese Apparatur über Jahre im Einsatz bleiben soll, musste getestet werden, ob sich die theoretischen Überlegungen in der Praxis bewähren.

Es wurden Überlegungen angestellt, ob eine Wartung in regelmäßigen Abständen als sinnvoll erachtet werden kann.

Natürlich konnte hier nur ein Erfahrungsbericht der ersten Tage und Wochen abgegeben werden. In wie weit sich die Apparatur über Jahre bewährt, konnte in diese Arbeit, welche in einem beschränkten Zeitfenster geschrieben wurde, nicht aufgenommen werden.

5.1 Erstinbetriebnahme

Der Einbau in die Konzentratversorgung wurde in einer Zeit vorgenommen, in der nicht dialysiert wurde. Neben der mechanischen Befestigung war es notwendig, einen Leerabgleich der Sensoren vorzunehmen, wie dieser in der Gebrauchsanweisung beschrieben ist. Es stellte sich heraus, dass die Sensoren wie gedacht funktionieren.

Sie wurden am Steigrohr befestigt, da dort die Wasseroberfläche ruhiger ist. Durch den Rücklauf kann es im Tank zu Turbulenzen kommen, die ein Detektieren des Wasserstandes deutlich erschweren. Außerdem ist ein Anbringen an das Steigrohr mit Kabelbindern die einfachste Lösung. An den Steigrohren waren allerdings schon zwei Sensoren vorhanden, die für die Wiederbefüllung der Tanks verwendet werden. Diese sind wiederum mit Kabel befestigt, welches als metallisches Bauteil die Sensoren stört. Die Kabel verlaufen von oben bis hinunter zum letzten Sensor. So wurde unterhalb dessen der für die Umschaltung benötigte Sensor angebracht.

Für einen Probelauf wurde ein Testprogramm in die SPS-Steuerung eingeschrieben, was lediglich die Wartezeiten der Timer verkürzte, womit der Probelauf in einer überschaubaren Zeit stattfinden konnte, sowie damit beim Einbau nochmals überprüft werden konnte, ob jedes Bauteil nach Wunsch funktioniert. Über einen Laptop wurde bequem das Programm mit den Originalwerten eingespielt.

Die vier Tanks stehen so dicht nebeneinander, dass die Kugelhähne nicht zugänglich zwischen ihnen angebracht werden konnten. So wurden zwei neben dem ersten und zwei neben dem letzten Tank angebracht. Auch die Steuerung hängt neben den vier Tanks.

Es erfolgt ein Rückfluss in den Tank. Dazu wurde ein Schlauch direkt in den Tank verlegt. Es ist möglich, dass der Kreislauf auch ohne die Pumpe betrieben werden kann, wenn der

hydrostatische Druck der Flüssigkeit hoch genug ist, da auch die Dialysemaschinen, welche am Kreislauf hängen, für einen gewissen Fluss sorgen. Um dies zu gewährleisten, musste der Rückfluss soweit an den Boden des Tanks verlegt werden wie möglich. Der Schlauch wurde hierfür mit einem starren Rohr verstärkt.

Abbildung 22 zeigte bereits, wie die gesamte Konstruktion in der Praxis aussieht.

5.2 Wartung

Es ist als sinnvoll anzusehen, regelmäßig eine Sichtkontrolle durchzuführen, das heißt, zu kontrollieren, in wie weit die Übergänge noch dicht sind und ob sich Kristalle um diese gebildet haben. Da aber die Pumpen jeden Abend abgeschaltet werden müssen und auch der Techniker regelmäßig im Haus ist, stellt dies kein Problem dar und so muss keine Vorschrift für dies aufgestellt werden.

Eine elektrische Wartung ist nicht vorgesehen. Die eingebauten Relais sind für 200.000 Schaltspiele ausgelegt.

Die anfälligsten Relais sind die der Sensoren, da sie nicht immer ein eindeutiges Signal bringen, sondern hin und her schalten können, wenn der Füllstand ein bestimmtes Niveau hat. Dieser Fehler wird erst in der Steuerung mit entsprechenden Timern ausgeglichen. Doch geht man pro Entleerung von sechs Schaltvorgängen aus, liegt die Lebenserwartung dieser Relais bei 160 Jahren.

Die elektrische Lebensdauer der Zweifach-Relais beträgt nur 150.000 Schaltspiele. Da diese aber weitaus seltener geschaltet werden, aller zwei Umschaltungen einmal, werden die Relais der Sensoren wahrscheinlich eher ausfallen.

Da die SPS-Steuerung laut Hersteller eine Betriebsdauer von 10 Jahren hat, liegen die Lebenserwartungen für die Relais in einem Bereich, in dem man von einer Wartung absehen kann.

Im Falle eines Ausfalls ist vorerst eine Handnotbetätigung möglich. Wie auch bei Ausfällen der Dialysemaschinen besteht jederzeit die Möglichkeit, einen Techniker zu rufen. Da normalerweise in der normalen Arbeitszeit dialysiert wird, stellt dies kein zu großes Problem dar. Ein Notdienst muss ebenfalls von medizintechnischen Unternehmen gewährleistet werden

Die Konstruktion wird als wartungsfrei ausgewiesen.

6 Diskussion und Ausblick

Mit der vorliegenden Konstruktion ist eine Lösung des Problems vorhanden. Durch den übersichtlichen Einbau wird die Fehlersuche erleichtert. Die Möglichkeit der Veränderung und Anpassung an andere Umstände ist damit gegeben.

Der Kunde war mit der Lösung zufrieden, auch die Fehleranzeige über die Ampel wurde von ihm, der die Konstruktion am Ende verwendet, als positiv empfunden, da der Raum, in dem die Konstruktion untergebracht ist, nicht ständig besucht wird.

In wieweit sich die Arbeit bewährt zeigt der Praxistest innerhalb der ersten Monate und Jahre im Betrieb. Bis zur Abgabe dieser Arbeit gab es im Ablauf keinerlei Probleme.

Eine Übertragung auf ähnliche Probleme, beispielsweise in der Getränkeindustrie ist möglich. Durch wenige Änderungen in der SPS-Steuerung und mit der Pumpe ist es ebenfalls möglich, diese Konstruktion für Problemfelder mit einer umgekehrten Flussrichtung zu nutzen.

Literatur

- [AUNB2011] Apothekenumschau <kontakt_online@wortundbildverlag.de>:
Nierenbeckenentzündung. URL: <<http://www.apothekenumschau.de/Nierenbeckenentzuendung>>, verfügbar am 10.08.2011
- [AUNi2011] Apothekenumschau <kontakt_online@wortundbildverlag.de>:
Nierenentzündung. URL: <<http://www.apothekenumschau.de/Nierenentzuendung>>, verfügbar am 10.08.2011
- [Bie2011] Bieber, Richard: Ein weiterer Baustein in der Hygienekette. URL:
<<https://www.thieme-connect.com/ejournals/pdf/dialyseakt/doi/10.1055/s-2007-983906.pdf>>, verfügbar am 19.07.2011
- [Bros2011] Brosinsky, K. < brosin-sky-gmbh@web.de>: Brosinsky Technik.
URL: <<http://brosinsky-technik.com/index.html>>, verfügbar am 27.06.2011
- [Dil2011] Direct Industrie : Hydrostatischer Füllstandssensor. URL:
<<http://www.directindustry.de/prod/druck-temperatur-leitenberger/hydrostatische-fullstandssensoren-14053-493547.html>>, verfügbar am 19.07.2011
- [Gros2011] Grospietsch, Prof. Dr. med. Gerhard < info@dgnp.de>:
DocMedicus. URL: <http://www.gesundheitslexikon.com/Startseite/Home_Index>, verfügbar am 27.06.2011
- [HeHe2011] Heigl, Dr. med. Franz; Hettrich, Dr. med. Reinhard <info@mvz-kem-
pten.de>: Medizinisches Versorgungszentrum Kempten-Allgäu. URL: <[http://www.mvz-kem-
pten.de/index.shtml](http://www.mvz-kem-
pten.de/index.shtml)>, verfügbar am 27.06.2011
- [ifm2011] ifm electronic gmbh < info@ifm.com> : Vielseitige
Rückschlagventile – SFS-Fluid Systeme GmbH. URL:
<http://www.ifm.com/ifmde/web/lp_kapazitive_sensoren.htm>,
verfügbar am 19.07.2011
- [KfH2007] KfH Kuratorium für Dialyse und Nierentransplantation e.V.:
Peritonealdialyse. -2. Auflage- Neu-Isenburg: 2007.

- [Knorre2004] Knorre, Ronald: Optimierung einer zentralen Konzentratversorgung in einer Dialysepraxis. - 2004. Jena, Fachhochschule Jena, Fachbereich Medizintechnik, Diplomarbeit, 2004.
- [PHK2011] Paulson, Richard A.; Hoffmann, Rolf; Kelly, Michael <zentrale@amgen.de>: Niere.org. URL: <<http://www.niere.org>>, verfügbar am 27.06.2011
- [Schön1990] Schönweiß, Günther: Dialysefibel. -1. Auflage- Nürnberg: PERIMED-spitta, 1990
- [SFS2011] SFS-Fluid Systeme GmbH <info@sfs-fluidsysteme.de> : Vielseitige Rückschlagventile – SFS-Fluid Systeme GmbH. URL: <<http://www.sfs-fluidsysteme.de/index.html>>, verfügbar am 27.06.2011
- [Wam2011] Wambach: Automatisierungstechnik. URL: <http://public.tfh-berlin.de/~msr/pdf-files/CAM-Labor/CAM_Kapitel_7.pdf> verfügbar am 19.07.2011
- [Web2011] Weber, Nina: Gift im Blut. URL: <<http://www.spiegel.de/wissenschaft/medizin/0,1518,765320,00.html>>, verfügbar am 27.05.2011

Bildquellen

Abbildung 2 Wegener, Dieter <webmaster@harnsteine.net>: Aufbau und Funktion des Harntraktes. URL: <<http://www.harnsteine.net/index.php?id=4>>, verfügbar am 10.08.2011

Abbildung 3, Schönweiß, Günther: Dialysefibel. -1. Auflage- Nürnberg:
Abbildung 4, PERIMED-spitta, 1990
Abbildung 5,
Abbildung 6

Abbildung 7 Jameda <gesundheit@jameda.de>: Dialysator. URL: <<http://www.jameda.de/gesundheits-lexikon/dialysator/>>, verfügbar am 10.08.2011

Abbildung 9 Crouzet <info-direkt@crouzet.com>: Millenium 3 (Datenblatt)

Abbildung 10 ifm electronics :< info@ifm.com>: KQ6002

Abbildung 12 Landefeld <verkauf@landefeld.de>: Dokumentation – Elektrisch betätigte Kugelhähne (Datenblatt)

Abbildung 14,
Abbildung 15,
Abbildung 16, Screenshots von dem Programm
Abbildung 17,
Abbildung 18 Crouzet Logic Software M3 Version 2.3 (Copyright 2002)

Abbildung 19 Landefeld < verkauf@landefeld.de>: Dokumentation Elektrisch betätigte Kugelhähne –Typen KH...ELI.../ KH...ELI...ES-. URL: <<http://www.cdn.inetbone.net/cdn-cust-100102/Landefeld/doku/kheli.pdf>>, verfügbar am 10.08.2011

Alle weiteren Abbildungen wurden mit Microsoft Paint vom Autor erstellt oder es handelt sich um eigene Photographien des Autors.

Anlagen

Stückliste I

Stückliste

Für eine bessere Übersicht wurde eine Stückliste mit allen verwendeten Teilen erstellt. Für die Bestellung von Ersatzteilen oder für den Nachbau kann dies von Vorteil sein.

Anzahl	Bauteil	Firma	Artikel	Artikelnummer
1	SPS-Steuerung	Conrad	Crouzet Millenium 3 Einsteigerset	XD26 230VAC
4	Kapazitiver Sensor	ifm electronics	KQ 6002	KQ-3120NFPKG/2T
4	Montageadapter für Sensor	ifm electronics	Befestigung der Bauformen KQ5 und KQ6 an Rohren und Schläuchen	ifm electronics
4	Kugelhahn (eine war bereits vorhanden und sind nicht genau baugleich)	Landefeld	elektrisch betätigter Kugelhahn	KH 12 ELI 24
4	Übergang vom Kreislauf zum Kugelhahn	Serto	Gerade Einschraubverschraubung	SO 21124-8-1/2OR
8	Übergang vom Schlauch, der zum Tank führt, zum Kugelhahn	Serto	Schlauchtülle	SO 20503-A12-10
8	Übergang vom Schlauch, der zum Tank führt, zum Kugelhahn	Serto	Gerade Einschraubverschraubung	SO 21121-12-1/2
4	Übergang von zwei Schläuchen auf Kreislaufschläuche für den Einbau der Pumpe	Serto	PVDF, Winkelverschraubung mit Einstellzapfen	SO22621-8-A8
14	Einfach-Relais Halterung für die Hutschiene	Reichelt	Finder-Koppelrelais, 1xUM, 10 Amp, mit FIN 40.31	FIN 49.31.9 24 V
2	Zweifach-Relais Halterung für die Hutschiene	Reichelt	Finder-Koppelrelais 2xUM 8 A, mit FIN 40.52 24 DC	FIN 49.52.9 24 V
1	Ersatzrelais (Einfach-Relais)	Reichelt	Printrelais, 1xUM, 250V/10A, 24V	FIN 40.31.9 24 V
1	Ersatzrelais (Zweifach-Relais)	Reichelt	Printrelais, 2xUM, 250V/8A, 24V RM 5 mm	FIN 40.31.9 24 V
1	Schaltnetzteil 24 V	Reichelt	Schaltnetzteil, DIN-Montage, 24 V/ 3,2	SNT MW-DR75-24

A/ 75 W				
1	Sicherungsautomat	Reichelt	Sicherungsautomat 6A, 1 pol., Charakteristik B	EL LSCO B 6A
2	Sicherungshalter	Reichelt	Sicherungshalter, 5x20 mm	PL 121000
2	Sicherung für die Kugelhähne	Reichelt	Feinsicherung 5x20 mm 2,0 A	MTR 2,0 A
2	Hutschiene	Reichelt	Norm-Tragschiene	HUT 35X7-250
1	Gehäuse für Hutschiene	Reichelt	Gehäuse 355x318x150/79 mm	BOPLA RCP 4000
1	Lochverstärker für Leitungen, die in das Gehäuse führen	Reichelt	Schraubensatz, 13,5 mm	LWL PG-13,5
6	Lochverstärker für Leitungen, die in das Gehäuse führen	Reichelt	Schraubensatz, 11 mm	LWL PG-11
2	Pumpe	Kählig Antriebstechnik	DC-Motor	M42x30/I 24 V

Außerdem wurden folgende Materialien verwendet:

- Lüsterklemmen
- Elektrische Leitungen und Schrumpfschlauch
- Endhülsen für die Montage der Leitungen
- Werkzeughalter für die Befestigung der Kugelhähne
- Gedruckte Aufkleber zur Beschriftung der Komponenten
- Abstandshalter zwischen Gehäuse und Hutschiene
- Befestigung für die Pumpe
- Schellen zur Befestigung der Schläuche
- Loctite und Dichtfaden

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Erfurt, den 12. September 2011

Tabea Christine Schettler